

MANUAL DE **ENTRENAMIENTO** DEPORTIVO

Alejandro Legaz Arrese



Manual de entrenamiento deportivo

A. Legaz-Arrese



Diseño de cubierta: David Carretero

© 2012, A. Legaz-Arrese

Editorial Paidotribo
C/ de la Energía, 19-21
Les Guixeres
08915 Badalona (España)
Tel.: 93 323 33 11-Fax: 93 453 50 33
<http://www.paidotribo.com>
E-mail: paidotribo@paidotribo.com

Primera edición:
ISBN: 978-84-9910-094-4
ISBN EPUB: 978-84-9910-413-3
Fotocomposición: Editor Service, S.L.
Diagonal, 299 – 08013 Barcelona
www.editorservice.net

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Autor

ALEJANDRO LEGAZ-ARRESE

Consultores

ANTONIO DAL MONTE Y MARCELLO FAINA

Colaboradores

ANA BELÉN PEINADO LOZANO

Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid

CARLOS LALÍN NOVOA

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Readaptador del Real Madrid C. F.

DIEGO MOLINER URDIALES

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Universitat Jaume I, Castellón

DIEGO MUNGUÍA IZQUIERDO

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

FERNANDO GIMENO MARCO

Doctor en Psicología

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Universidad de Zaragoza

FRANCISCO JAVIER CALDERÓN MONTERO

Doctor en Medicina y Cirugía

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid

FRANCISCO PRADAS DE LA FUENTE

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Universidad de Zaragoza

GERARD MORAS FELIU

Doctor en Filosofía y Ciencias de la Educación

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Barcelona

IGNACIO GRANDE RODRÍGUEZ

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid

IÑIGO BURGUETE LACUEY

Diplomado en Magisterio de Educación Física

Grupo de Investigación Movimiento Humano, Universidad de Zaragoza

JOAQUÍN REVERTER MASÍA

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ JURADO

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

JUAN JOSÉ MOLINA MARTÍN

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Europea de Madrid

LUIS CARRASCO PAÉZ

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla

LUIS ENRIQUE CARRANZA GARCÍA

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Grupo de Investigación Movimiento Humano, Universidad de Zaragoza

MARÍA TERESA GÓMEZ LÓPEZ

Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Europea de Madrid

MARC ROIG PULL

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Department of Physical Therapy, University of British Columbia, Vancouver, Canada Muscle Biophysics Laboratory, University of British Columbia, Vancouver, Canadá

NICOLÁS TERRADOS CEPEDA

Doctor en Medicina y Cirugía

Director de la Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias-Fundación Deportiva Municipal de Avilés Departamento de Biología Funcional, Universidad de Oviedo

NOELIA LINARES AYALA

Diplomada en Enfermería

Grupo de Investigación Movimiento Humano, Universidad de Zaragoza

PEDRO JOSÉ BENITO PEINADO

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Politécnica de Madrid

RAMÓN OLIVÉ VILÁS

Doctor en Medicina y Cirugía. Especialidad Medicina del Deporte

Director mèdic de la Unitat Assistencial CAR Sant Cugat, Barcelona

VÍCTOR DÍAZ MOLINA

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Politécnica de Madrid

Índice

1

ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

1. Entrenamiento deportivo. *A. Legaz*
2. Genética y rendimiento deportivo. *D. Moliner, N. Linares*
3. Entorno vital y de entrenamiento y rendimiento deportivo. *A. Legaz, J. Reverter*
4. Competir en casa y rendimiento deportivo. *A. Legaz, D. Moliner, J. Reverter*

2

EL ESTÍMULO DE ENTRENAMIENTO

1. Homeostasis: clave de la adaptación. *F. Pradas, A. Legaz*
2. Estímulo óptimo de entrenamiento. *A. Legaz, L. E. Carranza, JA. González*
3. Período óptimo de recuperación. *L. Carrasco, A. Legaz*
4. Desequilibrio entre el estímulo y la recuperación. *A. Legaz, F. Pradas, L. Carrasco*
5. Factores de rendimiento y niveles del estímulo de entrenamiento. *A. Legaz*

3

OPTIMIZACIÓN DE LA FUERZA

1. Fundamentos básicos de la fuerza. *A. Legaz, I. Burquete*
2. Factores asociados al nivel de entrenamiento específico de las distintas manifestaciones de fuerza. *A. Legaz*
3. Niveles de entrenamiento resistido y asistido de las distintas manifestaciones de fuerza. *A. Legaz*
4. Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva. *A. Legaz, L. E. Carranza*
5. Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza resistencia. *A. Legaz, L. E. Carranza*
6. Evaluación y control de la fuerza explosiva. *A. Legaz, M. Vélez, L. E. Carranza*

4

OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA

1. **Fundamentos básicos de la resistencia.** *A. Legaz*
2. **Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad constante.** *A. Legaz, D. Munguía*
3. **Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad variable.** *A. Legaz, D. Munguía*
4. **Resistencia en los esfuerzos intermitentes.** *A. Legaz, J. J. Molina, M. T. Gómez*
5. **Entrenamiento en altitud moderada.** *N. Terrados*
6. **Evaluación y control de la resistencia.** *A. Legaz*

5

OPTIMIZACIÓN DE LA MOVILIDAD ARTICULAR

1. **Fundamentos básicos de la movilidad articular.** *G. Moras*
2. **Neurofisiología articular.** *G. Moras*
3. **Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular** *G. Moras*
4. **Evaluación y control de la movilidad articular.** *G. Moras*

6

OPTIMIZACIÓN MOTRIZ E INFORMACIONAL

1. **Neurofisiología de la motricidad.** *F. J. Calderón, P. J. Benito, A. B. Peinado, V. Díaz*
2. **Factores motores e informacionales en las distintas modalidades deportivas** *A. Legaz, M. T. Gómez, J. J. Molina*
3. **Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas cerradas.** *I. Grande, A. Legaz*
4. **Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas abiertas.** *M. T. Gómez, J. J. Molina, A. Legaz*

7

OPTIMIZACIÓN PSICOLÓGICA

1. **Evaluación psicológica en el ámbito del deporte.** *F. Gimeno*
2. **Técnicas y estrategias de entrenamiento psicológico para la mejora del rendimiento.** *F. Gimeno*
3. **Estrés del entrenador: breve reflexión.** *F. Gimeno*

8

PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE ENTRENAMIENTO

1. Factores determinantes de la planificación. *A. Legaz*
2. Estructuras de la planificación. *A. Legaz*
3. Planificación para un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales *A. Legaz*
4. Planificación para un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
A. Legaz

9

PREVENCIÓN Y READAPTACIÓN DE LESIONES

1. Lesiones deportivas. *R. Olivé*
2. Modelos y estrategias para la prevención de lesiones. *M. Roig*
3. Readaptación física del deportista lesionado. *C. Lalín*

Prefacio

Manual de entrenamiento deportivo surge durante una visita que realizo al “Istituto di Medicina e Scienza dello Sport, Comitato Olimpico Nazionale Italiano”. El objetivo inicial es traducir al castellano el libro “Valutazione dell’atleta. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione” de Antonio Dal Monte y Marcello Faina, pero finalmente, contando como consultores con los mencionados autores, decido proyectar un Manual que integre las principales temáticas del proceso de entrenamiento deportivo.

Manual de entrenamiento deportivo se proyecta casualmente y sin ser del todo consciente de la labor requerida durante muchos años. La colaboración de numerosos profesionales en áreas temáticas específicas ha sido indispensable para mantener la motivación y poder entregar a la editorial el manual que presento a los lectores.

El objetivo final de *Manual de entrenamiento deportivo* es que el lector sea capaz de establecer de forma coherente el proceso de entrenamiento de cualquier deportista y cualquier modalidad deportiva.

En el capítulo 1 se desarrolla el concepto de entrenamiento deportivo y se establecen los factores que, además del proceso de entrenamiento, determinan el rendimiento en competición: la genética, el entorno vital y de entrenamiento del deportista, y la ventaja de competir en casa. En el capítulo 2 se establecen las bases que determinan el estímulo óptimo requerido para obtener las adaptaciones deseadas. Se incide específicamente en las distintas fases del proceso de supercompensación (carga-fatiga-recuperación-supercompensación) y en los factores de rendimiento específicos y básicos que determinan los distintos niveles de entrenamiento. En los capítulos 3 a 7 se muestra cómo a través del proceso de entrenamiento se puede optimizar los factores generales que determinan el rendimiento en competición: fuerza, resistencia, movilidad articular, motricidad y los procesos informacionales y psicológicos. Comienzan estos capítulos con la explicación de los conceptos básicos y/o los fundamentos fisiológicos y mecánicos que sientan las bases para comprender posteriormente la metodología de entrenamiento propuesta

para las distintas modalidades deportivas. Se analizan finalmente las principales pruebas que permiten determinar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento, así como su reorientación individualizada. Se cambia la perspectiva en el capítulo 8 para cerrar el proceso de entrenamiento e integrar los conocimientos previos, distribuyendo durante una temporada en niveles de entrenamiento los factores que determinan el rendimiento en las distintas modalidades deportivas. Se incide específicamente en la diferenciación entre las modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales o durante la mayor parte de la temporada. En la parte final del libro, el capítulo 9 focaliza la atención sobre la prevención y readaptación de lesiones, aspectos habitualmente olvidados y de progresiva relevancia en el proceso de entrenamiento. Se describen las principales lesiones y las nociones básicas de sus síntomas, diagnóstico y tratamiento; la evidencia científica de los medios de prevención, y una propuesta general de las principales directrices para el proceso de readaptación.

Manual de entrenamiento deportivo ofrece una aproximación novedosa al estudio del proceso de entrenamiento. Ha sido diseñado para que el estudiante y el lector novel dispongan de una herramienta básica de trabajo que les facilite de forma amena el aprendizaje de la variedad y complejidad de factores que determinan la metodología de entrenamiento para optimizar el rendimiento deportivo. Se ha buscado este objetivo sin reducir la información actualmente disponible, pero no hay que amedrentarse por su tamaño y contenidos. Se han establecido diferentes estrategias para ayudarle en su progreso. Al comienzo de cada apartado encontrará, además del índice, los objetivos que podrá alcanzar y un breve texto que describe sus contenidos. Cada capítulo y apartado se han dividido en las partes adecuadas para estructurar su contenido, considerando que los conocimientos previos son requeridos para el aprendizaje de los siguientes contenidos, e incidiendo especialmente en los conceptos que por experiencia son más difíciles de asimilar. De esta forma, el nivel de profundización durante la lectura del libro es regresivo hasta considerar la explicación suficiente para su asimilación. Se establecen tablas que sintetizan y resaltan los contenidos más relevantes, y figuras de investigaciones seleccionadas y de datos de deportistas de elite que ejemplifican y dan veracidad a los argumentos planteados. Encontrará una breve explicación al pie de cada figura que le facilitará su comprensión. En el texto se resaltan los conceptos básicos y las palabras o frases más relevantes

que determinan su contenido. Al final de cada apartado encontrará una síntesis que le permitirá focalizar el aprendizaje de los aspectos más importantes y un cuestionario de asimilación para que conozca su progreso y reflexiones sobre los contenidos.

Manual de rntrenamiento deportivo también ha sido diseñado como una herramienta de actualización y profundización, y en numerosos aspectos como una nueva filosofía de abordar y explicar el proceso de entrenamiento deportivo. El lenguaje es directo con el objetivo de diferenciar con claridad los contenidos basados en la evidencia científica de aquellos con evidencia o supuesta evidencia empírica o que únicamente están basados en teorías transmitidas durante muchos años. Para ello se ha realizado un exhaustivo análisis de la bibliografía científica con la filosofía de que es tan importante decir lo que está demostrado como decir lo que no tiene evidencia científica, considerando esta filosofía como requisito indispensable debido a la dificultad de establecer científicamente numerosos factores asociados a la optimización del rendimiento deportivo. Desde esta perspectiva, el autor y los lectores debemos ser conscientes de que en el proceso de edición, publicación y posterior lectura de *Manual de entrenamiento deportivo* van a ser publicados numerosos trabajos y de que gran parte de ellos pueden resolver y contradecir algunos de los planteamientos establecidos. También es consciente el autor de que, a pesar de un análisis exhaustivo, algunos planteamientos pueden ser erróneos o controvertidos, por lo que se invita a expertos profesionales a que transmitan al autor, consultores y colaboradores su desacuerdo, reflexión y nuevos avances.

Aun considerando las limitaciones para investigar sobre el entrenamiento y el rendimiento deportivo, en este manual se referencian cientos de trabajos seleccionados, la mayoría correspondientes a trabajos de investigación. *Manual de entrenamiento deportivo* es, por tanto, resultado del esfuerzo de muchos investigadores y de las personas e instituciones que los apoyan. Sólo incrementando el apoyo y la motivación de los investigadores y fomentando que los entrenadores transmitan sus experiencias es posible seguir avanzando en el conocimiento sobre el rendimiento deportivo. *Manual de entrenamiento deportivo* también es resultado de la formación básica y especializada que me han transmitido numerosos profesionales especialmente vinculados a la docencia de posgrado en alto rendimiento deportivo. Destacable es la labor del profesor Fernando Navarro Valdivielso como uno de los referentes durante muchos años en la transmisión de conocimientos asociados a la

globalidad de los factores asociados al entrenamiento deportivo, en particular sus fundamentos y principios, entrenamiento de resistencia y los sistemas de planificación. Por último, *Manual de entrenamiento deportivo* es el resultado de la continua interacción que durante los últimos 10 años he tenido con el alumnado de la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Zaragoza y del apoyo que he recibido de las personas más cercanas, cuyo referente es Edith Schwab.

Autobiografía

Alejandro Legaz-Arrese, natural del enclave medieval de Sos del Rey Católico, comenzó sus estudios universitarios en el INEF de León y se licenció en Educación Física por el INEF de Madrid. Obtuvo el grado de Magíster en Alto Rendimiento Deportivo por la Universidad Autónoma de Madrid y el de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad de Zaragoza. Ha publicado más de 50 artículos, la mayoría asociados al entrenamiento y rendimiento deportivo, de los que 25 pertenecen a revistas incluidas en la base de datos Journal Citation Reports. También ha presentado numerosas comunicaciones a congresos nacionales e internacionales. Actualmente es Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza, institución a la que está vinculado desde hace 10 años impartiendo las asignaturas de entrenamiento deportivo en la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Ejerce la función de investigador principal del grupo Movimiento Humano, marco en el que ha dirigido 5 tesis doctorales. Ha ejercido de entrenador-preparador físico de carreras de atletismo, BMX y fútbol sala, siendo el ciclismo de ruta su deporte preferido.

capítulo 1

Entrenamiento y rendimiento deportivo

El capítulo 1 tiene por objetivo centrar la atención en el concepto de entrenamiento deportivo y en la naturaleza multifactorial del rendimiento deportivo. Comenzamos en el apartado 1, *Entrenamiento deportivo*, estableciendo los indicadores que definen el entrenamiento deportivo como un proceso complejo que persigue la optimización del rendimiento. Mostramos cómo un adecuado proceso de entrenamiento es determinante para la mejora del rendimiento deportivo y que éste es además el resultado de la influencia de numerosos factores. En el apartado 2, *Genética y rendimiento deportivo*, aprenderá los conceptos básicos de la genética, su influencia sobre el rendimiento deportivo, el estado actual de las investigaciones que determinan los genes asociados al rendimiento de las distintas modalidades deportivas y el peligro de la terapia genética como método de dopaje. El apartado 3, *Entorno vital y de entrenamiento y rendimiento deportivo*, le enseñará a reflexionar sobre la variedad de factores asociados al deportista y al contexto en el que realiza el entrenamiento que deben ser considerados como requisitos básicos para que el proceso de entrenamiento se desarrolle en las condiciones idóneas que permitan maximizar el rendimiento deportivo. La importancia de estos factores está ilustrada mediante un análisis de su posible influencia en la evolución del rendimiento de distintos grupos de población y países. Finalmente, el apartado 4, *Competir en casa y rendimiento deportivo*, le mostrará la evidencia científica de los distintos factores que determinan que el rendimiento deportivo sea superior cuando se compite en casa, su influencia en las distintas modalidades deportivas y las estrategias que permiten influir sobre la ventaja de competir en casa.

1

Entrenamiento deportivo

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los indicadores que definen el concepto de entrenamiento deportivo.
- Comprender qué otras funciones del entrenador, además de la labor técnica, son determinantes para un adecuado proceso de entrenamiento.
- Comprender la importancia de la formación continuada del entrenador y conocer las principales fuentes de búsqueda de la información.
- Comprender la importancia de la investigación para la optimización del rendimiento deportivo, conocer el estatus científico actual del proceso de entrenamiento deportivo y los factores que limitan el progreso de su conocimiento científico.
- Comprender que, además de por la evidencia científica y empírica, el entrenamiento deportivo debe guiarse por el continuo planteamiento reflexivo del entrenador.
- Describir el modelo básico de los factores de rendimiento a desarrollar durante el proceso de entrenamiento de los deportistas.
- Comprender que, para optimizar el rendimiento deportivo, es necesario un adecuado proceso de entrenamiento, pero que el resultado en la competición está determinado por numerosos factores.

Índice

- 1.1. Proceso psicopedagógico
- 1.2. Proceso planificado
- 1.3. Proceso basado en el conocimiento científico y empírico
- 1.4. Desarrollo de factores de rendimiento
- 1.5. Proceso de mejora del rendimiento deportivo

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Sobre la base de las definiciones establecidas por prestigiosos autores, se representan en la figura 1.1 los principales indicadores que definen el proceso de **entrenamiento deportivo**. Siguiendo estos indicadores, definimos el entrenamiento deportivo como un proceso psicopedagógico y planificado que persigue la mejora del **rendimiento deportivo** mediante el desarrollo de factores condicionales, motores e informacionales según el conocimiento científico y empírico. Tales indicadores determinan la estructura de este apartado.

1.1. Proceso psicopedagógico

El deporte de alta competición requiere una elevada implicación de los **entrenadores**, que deben estar presentes en todo el proceso de entrenamiento. Su formación es imprescindible en cualquier sistema de desarrollo de deportistas de elite. De hecho, mientras que los deportistas cambian de generación en generación, el entrenador constituye un elemento estable del sistema. Además de ejercer su función técnica, debe ser capaz de organizar todo el proceso de entrenamiento, lo que implica, además de la interrelación con el deportista, la dirección del equipo multidisciplinario de trabajo y la interrelación con directivos, medios de comunicación, etc. Ciertamente, las funciones del entrenador son variadas y complejas, lo que determina una variedad de situaciones de estrés asociadas a la preparación y el rendimiento de los deportistas y a los aspectos de carácter organizativo (Thelwell *et al.*, 2008).

El entrenamiento para optimizar el rendimiento deportivo es un proceso que exige un gran sacrificio de los **deportistas**. En este contexto, el entrenador tiene la función de mantener el nivel de motivación de los deportistas. Además, las numerosas horas de trabajo que comparten el entrenador y el deportista determinan que su interrelación sea considerada como uno de los factores claves del éxito deportivo. Es interesante que tanto entrenadores como investigadores coincidan en que la principal cualidad que debe tener un entrenador es la capacidad para entablar una óptima relación con los deportistas (Williams y Kendall, 2007). Este aspecto no es de extrañar si consideramos que el clima entre el entrenador y el deportista es naturalmente propenso a degradarse en el contexto de la competición de elite (Le Bars *et al.*, 2009). Actualmente se han validado instrumentos como “The

Coach–Athlete Relationship Questionnaire” (CART-Q) (Jowett y Ntoumanis, 2004) que permitirán en el futuro obtener información para establecer las pautas sobre indicadores de cómo ha de ser la óptima relación entre el entrenador y el deportista para maximizar el rendimiento deportivo. Este tipo de análisis permitirá también establecer nuevas directrices para la futura formación de los entrenadores.



FIGURA 1.1. Indicadores que definen el proceso de entrenamiento deportivo. Obsérvese que el objetivo prioritario del entrenamiento deportivo es la mejora del rendimiento. Para ello, el proceso de entrenamiento requiere desarrollar los factores condicionales, motores e informacionales que determinan el rendimiento de una determinada modalidad deportiva. Este desarrollo debe ser planificado y ha de considerar el conocimiento científico y empírico, así como las relaciones socioafectivas con los deportistas.

Original del autor.

1.2. Proceso planificado

Es conocido que el máximo rendimiento deportivo se manifiesta sólo en momentos puntuales y no puede mantenerse durante períodos de tiempo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

prolongados. Por este motivo, la **planificación del entrenamiento** para obtener el rendimiento óptimo en los momentos esperados es un elemento clave en el proceso de entrenamiento. Actualmente, la planificación del entrenamiento ha adquirido mayor relevancia debido al incremento del número de competiciones. A partir de los principios y las leyes biológicas de adaptación que condicionan el desarrollo de los factores de rendimiento, y especialmente sobre la base de la experiencia práctica, los teóricos del entrenamiento han desarrollado distintos **modelos de planificación** con el fin de optimizar el nivel de prestación del deportista y reorientarlo según el calendario de competición. Para ello, estos modelos recurren a la utilización de diferentes **estructuras organizativas**, desde las más simples, como la **sesión** y el **microciclo**, hasta las más complejas, como el **mesociclo** y el **macrociclo**. La adaptación de los modelos de planificación a las características de cada modalidad deportiva, al deportista y al calendario de competición es esencial para la optimización del rendimiento deportivo. Los contenidos asociados al conocimiento científico y empírico de la planificación del proceso de entrenamiento son un elemento fundamental de la estructura de este manual.

1.3. Proceso basado en el conocimiento científico y empírico

De forma simplificada, el **proceso de entrenamiento deportivo** consiste en la aplicación de estímulos con el fin de inducir adaptaciones en el deportista que eleven su nivel de rendimiento. La aplicación científica de este proceso requiere conocer las transformaciones que se producen en el deportista con la aplicación de los distintos estímulos de entrenamiento. Actualmente podemos considerar que el proceso de entrenamiento es **causal-casual** debido a que, aunque progresivamente se va conociendo más sobre las adaptaciones inducidas en el deportista a consecuencia de la aplicación de distintos estímulos de entrenamiento, todavía son numerosas las preguntas que no ha resuelto la comunidad científica (figura 1.2). Desde esta perspectiva, el entrenador debe conocer que la simple ejercitación física perseverante basada en la casualidad, el ensayoerror, es actualmente insuficiente para maximizar el rendimiento deportivo.

El incremento de científicidad del proceso de entrenamiento es

consecuencia de la aplicación práctica de los conocimientos emergentes de distintas **subdisciplinas científicas**. La conceptualización establecida por Abernethy *et al.*, (2005) de la estructura del conocimiento sobre el movimiento humano representa el carácter multidisciplinario del conocimiento asociado al proceso del entrenamiento deportivo (figura 1.3). En este manual haremos referencia constantemente a las numerosas aportaciones de estas subdisciplinas científicas.

El conocimiento emergente de estas subdisciplinas científicas determina que el aprendizaje adquirido por los entrenadores en la **formación reglada** deja de tener, al menos en parte, validez científica. Así, el entrenador debe buscar continuamente **fuentes de información** para actualizar sus conocimientos. Los medios de que dispone el entrenador para la continua búsqueda de información son muy diversos. Entre ellos podemos destacar la participación en cursos de formación continuada, la información aportada por otros compañeros y la lectura de libros y artículos en revistas especializadas.

La información adquirida mediante cursos, compañeros o libros, si bien éstos pueden considerarse herramientas útiles, entraña dos inconvenientes: (i) el entrenador es dependiente del conocimiento que realmente tiene el profesor, el compañero y el escritor; (ii) el tiempo transcurrido desde que estas personas leen la información original hasta que la transmiten es habitualmente excesivo. Así, la lectura de las **fuentes originarias** de la información científica debe considerarse un requisito indispensable para asegurar una formación continuada, científica y actualizada. Son, por tanto, las **revistas especializadas**, fundamentalmente las que publican artículos originales de investigación o revisiones basadas en el conocimiento científico, las que deben constituir la base de la formación continuada del entrenador. De acuerdo con Durrel *et al.*, (2003), si el entrenador no consulta las principales fuentes científicas, existe una elevada probabilidad de que sus programas de entrenamientos carezcan de credibilidad científica. Actualmente, son numerosas las revistas que, desde una perspectiva multidisciplinaria o específica, generan conocimiento asociado al entrenamiento deportivo. El entrenador debe seleccionar adecuadamente las revistas que le aporten una información de mayor calidad. Para todas las áreas de conocimiento, las revistas incluidas en la base de datos “**Journal Citation Reports**” son consideradas las de mayor nivel de científicidad.

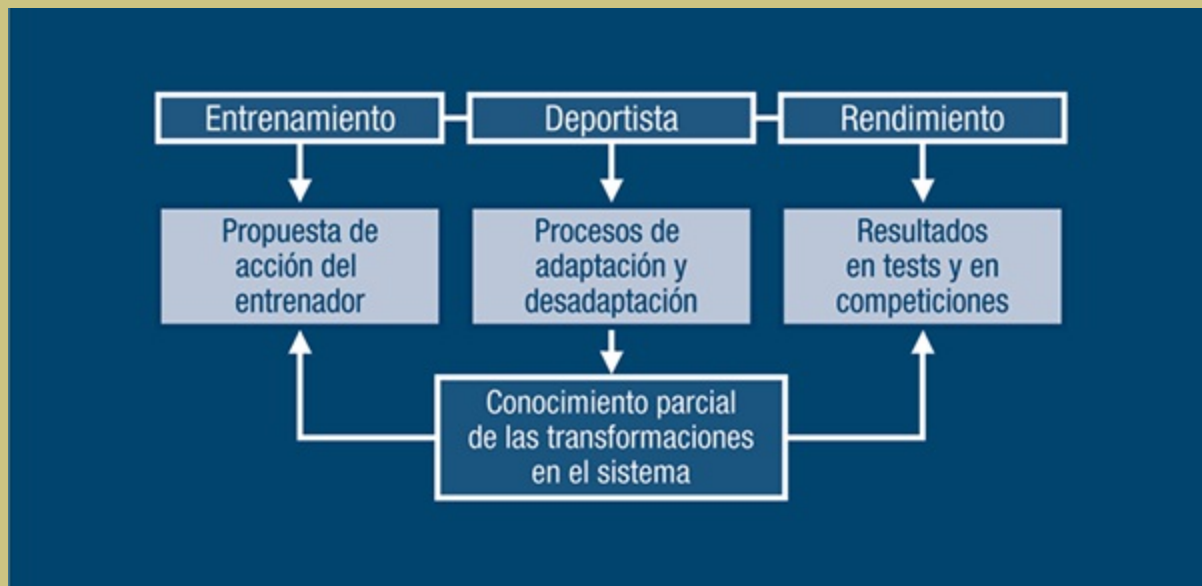


FIGURA 1.2. El entrenamiento deportivo como un proceso causal-casual. Obsérvese que, aunque el entrenamiento propuesto para la mejora del rendimiento de los deportistas requiere el conocimiento científico, numerosos factores asociados al proceso de entrenamiento no tienen evidencia científica, en parte por las dificultades de establecer estudios de investigación con deportistas de elite.

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Conceptos y sistemas de desarrollo del alto rendimiento deportivo. COE-UAM 2003.

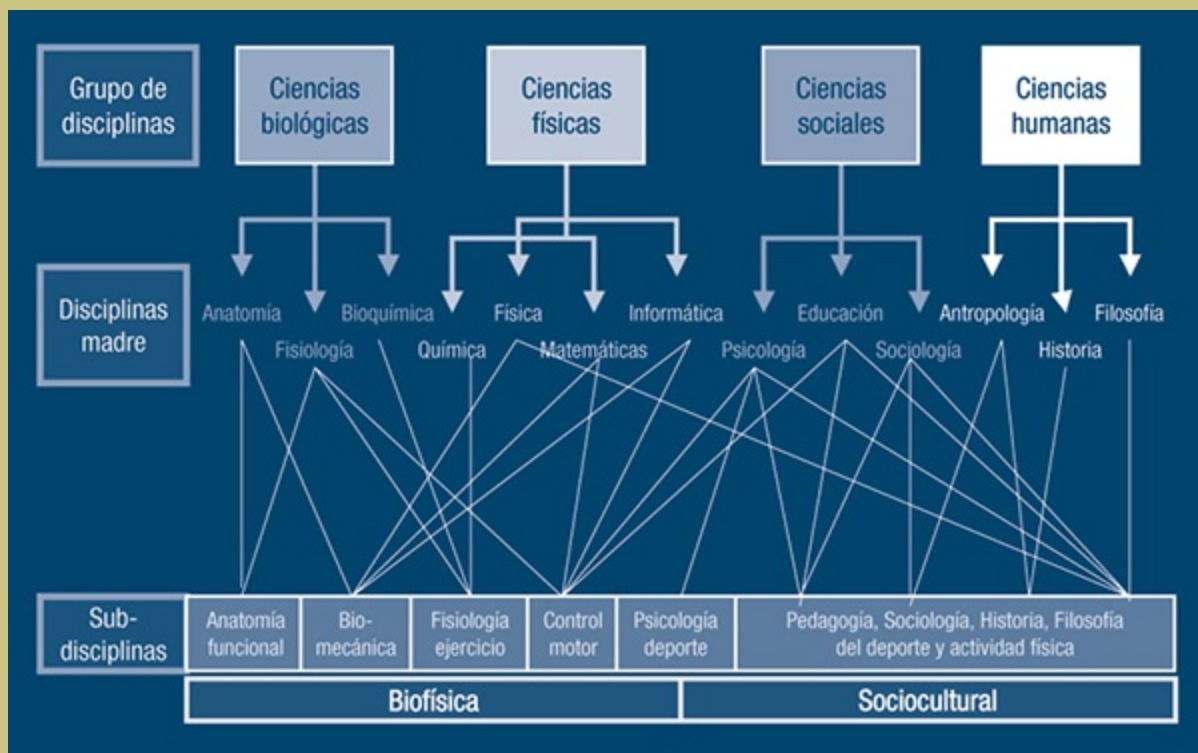


FIGURA 1.3. Subdisciplinas del movimiento humano. Obsérvese la variedad de disciplinas científicas que aportan información para un adecuado proceso de entrenamiento de los deportistas y para explicar su rendimiento.

Adaptado de Abernethy B et al. The biophysical foundations of human movement. Human Kinetics 2005.

El entrenamiento no sólo se ha visto beneficiado del avance de estas ciencias auxiliares, sino que además durante los últimos años se ha impregnado de los planteamientos del método científico, de modo que la propia sistemática y la organización del entrenamiento empiezan a constituir en sí mismas una naciente y compleja aplicación científica. No en vano, aunque el entrenador debe aprovecharse del creciente conocimiento científico, de acuerdo con Sánchez Bañuelos (2003), el propio proceso de entrenamiento ha de ser sometido por el entrenador a una revisión constante basada en un **planteamiento reflexivo**. En ningún caso el entrenador debe plantear el proceso de entrenamiento como una aplicación estricta de reglas que conducen al mismo resultado. Nada más lejos de la realidad; las investigaciones sobre el proceso de entrenamiento tienen numerosas limitaciones que conducen a que este proceso no sea y nunca será una ciencia

exacta.

Una breve reflexión sobre aspectos determinantes ayudará al lector a comprender la problemática del avance científico del proceso de entrenamiento deportivo. Dos aspectos resultan determinantes en este proceso: (i) conocer los factores que inciden en el rendimiento de una determinada modalidad deportiva, y (ii) conocer los métodos de entrenamiento que permiten una mejor optimización de cada uno de los factores de rendimiento.

El **conocimiento científico** de los factores que inciden en la mejora del rendimiento deportivo está limitado por la dificultad de medir el rendimiento en algunas modalidades deportivas y por la dificultad de medir algunos de los factores de rendimiento. Estas **limitaciones** se ven incrementadas si consideramos que la generalización de los resultados y conclusiones de las investigaciones debe basarse en una amplia muestra de sujetos. En el ámbito concreto del alto rendimiento deportivo, la propia concepción de lo que es un deportista de elite implica que el número de sujetos posibles para la investigación de una determinada modalidad deportiva sea insuficiente, aunque se tuviese la posibilidad de disponer de los mejores deportistas de un país. Así, la mayoría de los estudios que intentan determinar los factores de rendimiento de una modalidad deportiva están basados en una muestra de sujetos con un rendimiento heterogéneo y, por tanto, la traslación a los deportistas de elite de sus resultados y conclusiones debe realizarse con cautela. Bajo esta perspectiva, el análisis de los factores de rendimiento de la mayoría de las modalidades deportivas sólo puede realizarse según una reflexión teórica basada en la lógica interna del deporte, la experiencia práctica, la escasa evidencia científica y la traslación de los resultados de investigación de las distintas subdisciplinas científicas.

Si el conocimiento científico de los factores que inciden en el rendimiento deportivo de una modalidad deportiva plantea importantes dificultades, las limitaciones para conocer científicamente los métodos de entrenamiento que permiten optimizar cada uno de los factores de rendimiento son todavía más evidentes. Desde una perspectiva simplista, un conocimiento científico de la metodología del entrenamiento implicaría la determinación de los efectos de los distintos métodos de entrenamiento que se quiera analizar sobre los factores de rendimiento de una modalidad deportiva. Para realizar un análisis de estas características, se requiere disponer de tantos subgrupos de deportistas de elite como métodos o variantes de la metodología del

entrenamiento se quiera analizar. Respecto al análisis científico de los factores de rendimiento, esto implica un incremento del número de deportistas necesario para poder realizar el estudio, además de la dificultad real y ética que entraña el poder experimentar con diferentes programas de entrenamiento en deportistas de elite que solicitan óptimos resultados inmediatos. Así, tal y como se observa en este manual, la evidencia científica de la metodología del entrenamiento es escasa.

Aunque una reflexión específica sobre cada deporte y área de estudio nos conduciría a obtener mayores dificultades de las ya enunciadas, consideramos que las expuestas son suficientes para determinar la problemática de la investigación sobre el proceso de entrenamiento deportivo. Sirva como reflexión que entre las revistas indexadas en la sección de “Sports Sciences” en la base de datos “Journal Citation Reports” puede considerarse que únicamente una revista está directamente asociada al proceso de entrenamiento deportivo. En las restantes revistas muy pocos artículos abordan el proceso de entrenamiento deportivo con deportistas de elite, y son casi inexistentes los artículos directamente relacionados con la metodología del entrenamiento.

Este análisis sugiere la necesidad de encontrar un nexo común entre las investigaciones que requieren los entrenadores de elite y el foco de interés de los investigadores. Sin embargo, además de las limitaciones expuestas sobre la investigación del proceso de entrenamiento deportivo, otros condicionantes a los que están sometidos los investigadores actualmente no permiten pensar que en un futuro cercano se plantee un avance importante en el conocimiento científico del entrenamiento deportivo. Es interesante que tanto los entrenadores como los investigadores consideran que las investigaciones deben ser realizadas en condiciones más naturales que los habituales procedimientos de laboratorio y que las aplicaciones sólo son útiles si se realizan con deportistas de elite (Williams y Kendall, 2007). A pesar de esta coincidencia, se puede considerar que, al menos en determinados aspectos, los intereses de los investigadores y de los entrenadores son contrapuestos. Las instituciones a las que pertenecen los investigadores reclaman de ellos la publicación de sus trabajos en las mejores revistas científicas. Así, los investigadores a menudo son juzgados por sus pares en términos de la calidad de sus publicaciones en función de la posición que ocupan las revistas donde publican sus trabajos. Estas revistas tienen criterios de exigencia muy elevados que en ocasiones limitan una investigación de mayor aplicación

para los entrenadores. Entre ellos, por ejemplo, se requiere habitualmente una verificación estadística de los resultados, lo que implica el análisis de un elevado número de sujetos, lo que difícilmente es obtenible exclusivamente con deportistas de elite. Otro nivel de exigencia de las revistas científicas es la fiabilidad y validez de las mediciones, ambos aspectos más fáciles de obtener si se realizan las valoraciones en laboratorio. Aunque tanto entrenadores como científicos consideran que una de las principales virtudes que ha de tener un investigador es la utilidad práctica de los resultados, y que, en cambio, el número de publicaciones y la calidad de las revistas son aspectos menos importantes, la realidad de los investigadores, especialmente de quienes trabajan en universidades, contradice estos deseos (Williams y Kendall, 2007). Así, la rigidez que requieren las publicaciones en estas revistas puede parcialmente limitar la orientación de la investigación a las necesidades prácticas e individuales de los entrenadores. Además, ciertamente los artículos publicados en revistas científicas tienen objetivos de estudio muy concretos y un lenguaje muy técnico. Esto tiene implicaciones para considerar a los entrenadores como audiencia debido a que ellos prefieren leer revistas deportivas y revistas multidisciplinarias (Williams y Kendall, 2007). Finalmente, esto determina que los entrenadores se alejen de la lectura de las revistas científicas. Como ejemplo, pudimos comprobar que únicamente un 5% de los preparadores físicos de los equipos que participaron durante la temporada 2004/2005 en la liga española de máxima categoría de fútbol, fútbol sala, hockey hierba, baloncesto, balonmano y voleibol consultaban revistas incluidas en la base de datos “Journal Citation Reports” (Reverter *et al.*, 2009). Por otra parte, los entrenadores y otros profesionales que trabajan directamente con los deportistas de elite, y que probablemente poseen la información de mayor aplicación práctica, tienen como objetivo la mejora del rendimiento de sus deportistas y no la difusión de los conocimientos que adquieren con la práctica diaria. De hecho, procuran preservar la información, probablemente para que no sea utilizada por otros entrenadores para la mejora del rendimiento de sus deportistas. Prueba de ello es que es difícil encontrar en cualquier fuente de información un análisis detallado y justificado de las características del entrenamiento de deportistas que alcanzan elevadas cotas de rendimiento. Igualmente es difícil encontrar información asociada a otros factores determinantes, como medios de recuperación, estrategias nutricionales, etc. Sirva como ejemplo que, en conversaciones mantenidas con experimentados entrenadores españoles, éstos

relataban sus experiencias para obtener información de las características del entrenamiento de los exitosos deportistas de la antigua Unión Soviética. Es en este contexto de intereses contrapuestos y de difícil solución donde el entrenador debe desarrollar su trabajo basándose en la selección de la información derivada del conocimiento científico, de otros profesionales y de su propia reflexión sobre sus experiencias prácticas.

1.4. Desarrollo de factores de rendimiento

En la figura 1.4 se representa un modelo teórico global de los **factores de rendimiento** asociados al proceso de entrenamiento de las distintas modalidades deportivas. El análisis detallado de la influencia de estos factores en cada modalidad deportiva constituye un requisito indispensable para la optimización del rendimiento deportivo, y, en consecuencia, este modelo teórico representa el marco conceptual básico de este manual. Sobre la base de este modelo podemos establecer que la mejora del rendimiento deportivo está asociada al desarrollo de factores de rendimiento informacionales, al desarrollo de la fuerza y al desarrollo de la motricidad.

Desarrollo de factores informacionales. Habitualmente denominado desarrollo táctico, engloba todos los procesos asociados a los mecanismos de percepción y de decisión. En esta categoría también se incluyen todos los factores psicológicos, entendidos como un componente más del proceso cognitivo que permite al deportista adquirir estrategias para organizar y controlar su actuación de forma más eficaz.

Desarrollo de la fuerza. Habitualmente denominado desarrollo de las capacidades físicas, consideramos, desde una perspectiva purista, que la fuerza es la única capacidad condicional debido a que sólo hay movimiento si existe una aplicación de fuerza. Globalmente, diferenciaremos únicamente las características de la aplicación de la fuerza, la máxima posible (comúnmente descrito como fuerza explosiva) o de forma continuada (comúnmente descrito como fuerza resistencia). Las características inherentes a algunas tareas motrices específicas condicionan la manifestación de fuerza con un amplio rango de movilidad articular.

Desarrollo de factores motores. Habitualmente denominado desarrollo técnico, consideramos que el término motricidad engloba no sólo la habilidad en el manejo de implementos deportivos, sino también la de manifestar fuerza en todas las situaciones de movimiento, como son aceleraciones,

desaceleraciones, cambios de ritmo, etc.

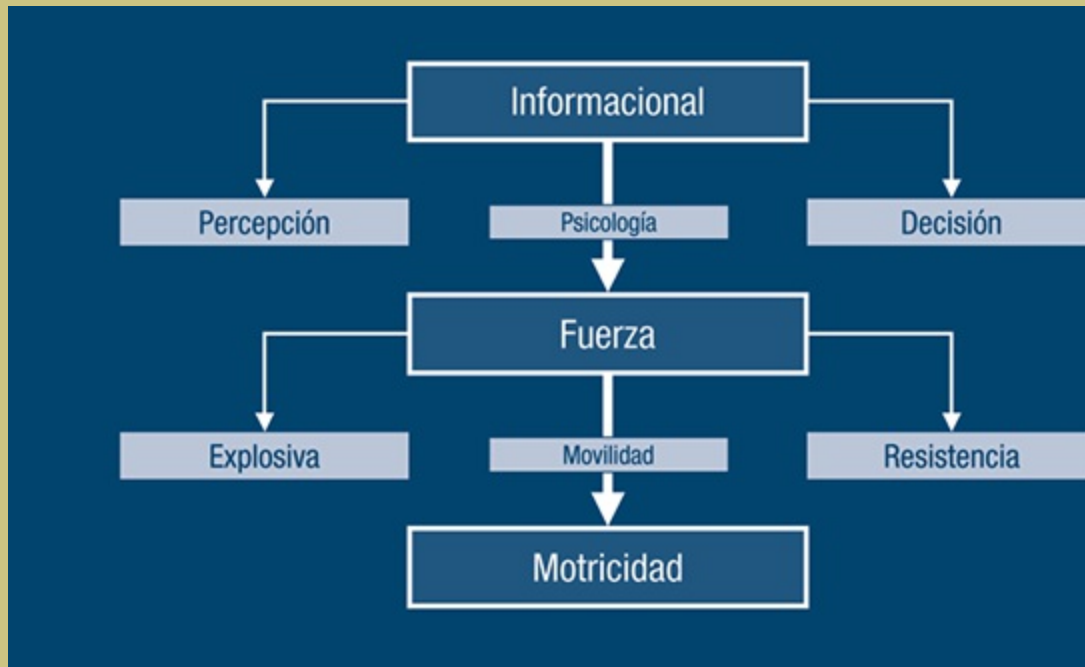


FIGURA 1.4. Modelo básico de factores a desarrollar en el proceso de entrenamiento deportivo. Obsérvese que en todas las modalidades deportivas la mejora del rendimiento está asociada al desarrollo durante el proceso de entrenamiento de la fuerza y de los factores motores e informacionales. La importancia relativa de estos factores y la forma en que se manifiestan varían considerablemente entre las diferentes modalidades deportivas, y, por tanto, su análisis es un objetivo prioritario de este manual.

Original del autor.

1.5. Proceso de mejora del rendimiento deportivo

El objetivo final del proceso de entrenamiento es la mejora del **rendimiento deportivo**. En la figura 1.5 se representa una concepción básica del proceso de entrenamiento deportivo que nos permite observar su vinculación con la mejora del rendimiento deportivo. Como se analiza detalladamente en el capítulo 2, desde una perspectiva fisiológica podemos considerar el proceso de entrenamiento como la repetición cíclica programada de ejercicio con el fin de alterar de forma reversible la homeostasis o equilibrio interno del sistema funcional del deportista. La **ruptura de la homeostasis** supone una fase de alarma en el organismo que se adapta durante el proceso de

recuperación a niveles morfofuncionales superiores en los sistemas implicados por el estímulo de entrenamiento. El objetivo de este proceso, que se denomina **supercompensación**, es servir de mecanismo protector del organismo para que, si éste vuelve a ser sometido a un estímulo de entrenamiento similar, el desequilibrio interno inducido sea menor. La labor del entrenador es la aplicación de cargas repetidas cada vez más intensas que vuelvan a implicar alteraciones importantes de la homeostasis que supongan nuevos procesos de supercompensación obteniéndose adaptaciones morfofuncionales estables. Si estas **adaptaciones estables** han sido orientadas hacia los sistemas específicos involucrados en una determinada modalidad deportiva, se obtendrá una mejora del rendimiento deportivo.

El aspecto de máxima coincidencia y que mejor sintetiza el concepto de entrenamiento deportivo es la mejora del rendimiento deportivo. Sin embargo, el **rendimiento deportivo**, entendido como el logro de los máximos resultados en competición, es complejo y **multifactorial**. Algunas cuestiones como, por ejemplo, por qué determinados países obtienen un alto rendimiento deportivo en los Juegos Olímpicos, o por qué actualmente los mejores corredores de fondo son de unas determinadas regiones de África y hace 25 años eran europeos, o por qué ningún ciclista profesional es de raza negra, o por qué los resultados de un país o un determinado equipo son mejores cuando compiten en casa, nos conducen a la reflexión de que el propio proceso de entrenamiento y rendimiento deportivo es más complejo que la simple aplicación de estímulos óptimos de entrenamiento.



FIGURA 1.5. La repetición sucesiva de estímulos de entrenamiento es determinante en la mejora del rendimiento deportivo. Obsérvese que la sucesiva ruptura de la homeostasis mediante estímulos de entrenamiento y su posterior período de recuperación induce las adaptaciones requeridas para la mejora del rendimiento deportivo. Puede encontrar un análisis detallado de este proceso en el capítulo 2.

Original del autor.

Los factores que influyen en el proceso de entrenamiento deportivo y el rendimiento en competición son diversos. Entre ellos destacamos como determinantes la **genética del deportista**, el **entorno vital y de entrenamiento** y la **ventaja de competir en casa**. El proceso de entrenamiento no puede aislarse de la influencia de estos factores. El entrenador debe analizar su influencia, y la de otros factores específicos de su contexto de trabajo, para tomar decisiones respecto al proceso de entrenamiento de cada uno de sus deportistas. Puede resultar infructuosa una óptima sistematización de estímulos de entrenamiento durante muchos años si el deportista y el entrenador no tienen conciencia de que genéticamente el deportista no está capacitado para obtener un alto rendimiento deportivo en una determinada modalidad deportiva. Igualmente, resultará infructuoso el proceso de entrenamiento con un deportista capacitado genéticamente si el deportista no puede dedicar el tiempo suficiente, o si no se dispone de los óptimos recursos materiales y humanos. Es objetivo de los siguientes apartados el resaltar la influencia que sobre el rendimiento deportivo tiene la genética del deportista, el entorno vital y de entrenamiento y la ventaja de competir en casa.

Síntesis

- El entrenamiento deportivo es un proceso psicopedagógico y planificado que persigue la mejora del rendimiento deportivo mediante el desarrollo de factores condicionales, motores e informacionales de acuerdo con el conocimiento científico y empírico.
- Aunque las funciones del entrenador se han asociado a su labor técnica, es también imprescindible su capacidad para dirigir a los deportistas y al equipo multidisciplinario de trabajo mediante una adecuada interrelación personal estableciendo un clima de trabajo motivador.
- Entre otros factores, las dificultades para realizar investigaciones con

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

deportistas de elite limitan el conocimiento científico del proceso de entrenamiento deportivo. El entrenador, además de aprovecharse del creciente conocimiento de las ciencias auxiliares, debe afrontar el entrenamiento de sus deportistas como un continuo proceso de indagación basado en la experiencia empírica de otros entrenadores y especialmente en la suya propia.

- La formación del entrenador es imprescindible para el desarrollo de deportistas de elite, ya que es el elemento más estable del sistema. Además de una adecuada formación básica, el entrenador debe actualizar continuamente sus conocimientos, en especial mediante la consulta de revistas científicas y especializadas.
- Se establece la necesidad de que las instituciones, investigadores, editores de revistas científicas y entrenadores establezcan un nexo común de coordinación para facilitar el avance del conocimiento en el entrenamiento de deportistas de elite.
- El análisis del mapa conceptual de los factores de rendimiento asociados a la manifestación de fuerza, a la motricidad y a los procesos informacionales es el requisito básico para establecer la metodología de entrenamiento adecuada con el fin de optimizar el rendimiento de las distintas modalidades deportivas.
- Aunque sin un adecuado proceso de entrenamiento no es posible obtener altos niveles de prestación, hay que considerar que el rendimiento deportivo es además dependiente de numerosos factores como la genética del deportista, su entorno vital y de entrenamiento y la ventaja de competir en casa.

Cuestionario de asimilación

1. Define el proceso de entrenamiento deportivo.
2. Establece quién tiene la responsabilidad de dirigir al equipo multidisciplinario que trabaja para optimizar el rendimiento de los deportistas.
3. Indica qué funciones, además de la función técnica, tiene que ejercer un entrenador.

- 4.** Describe las fuentes de información que deben consultar los entrenadores una vez que han sido formados adecuadamente para entrenar a deportistas de una determinada modalidad deportiva.
- 5.** Enumera y reflexiona sobre las principales limitaciones para que el proceso de entrenamiento sea científico.
- 6.** Indica qué propondrías para incrementar el nivel de conocimiento científico asociado al entrenamiento deportivo.
- 7.** Indica algún ejemplo de la aportación de las diferentes subdisciplinas científicas a la optimización del rendimiento deportivo.
- 8.** Indica dónde buscarías información del conocimiento empírico del proceso de entrenamiento deportivo de una determinada modalidad deportiva.
- 9.** Establece y reflexiona sobre la mejor información a utilizar para optimizar el rendimiento durante el proceso de entrenamiento de un deportista.
- 10.** Reflexiona por qué un entrenamiento dirigido a distancia tiene probablemente menos éxito que un entrenamiento en el que hay una continua interacción entre el entrenador y el deportista.

Genética y rendimiento deportivo

Diego Moliner Urdiales, Noelia Linares Ayala

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los conceptos básicos de genética.
- Conocer la evolución del rendimiento deportivo en distintas disciplinas deportivas.
- Comprender que el éxito deportivo es la confluencia poco habitual de un potencial genético extraordinario y el desarrollo bajo factores ambientales adecuados.
- Conocer las características de las investigaciones que intentan determinar la influencia genética sobre el rendimiento de distintas modalidades deportivas.
- Conocer los genes diana que han sido asociados al rendimiento de distintas modalidades deportivas.
- Conocer cómo la terapia genética constituye una nueva amenaza de dopaje con posibles efectos negativos para la salud de los deportistas.

Índice

- 2.1. Conceptos básicos de genética
- 2.2. Genes asociados al rendimiento deportivo
 - Gen codificador de la enzima convertidora de la angiotensina
 - Gen codificador de la α -actinina-3
- 2.3. Dopaje genético y rendimiento deportivo
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

Habiendo establecido la naturaleza multifactorial del rendimiento deportivo, abordamos en este apartado el estudio de la genética del deportista, considerando que determinados perfiles genéticos asociados a las distintas modalidades deportivas deben ser considerados un requisito básico para plantearnos que un deportista puede alcanzar elevadas cotas de rendimiento. Después de abordar el aprendizaje de los conceptos básicos de genética, se realiza un análisis de la literatura específica con el objetivo de conocer el estado actual de la investigación sobre los genes que se han asociado al rendimiento de las distintas modalidades deportivas. Se incide también brevemente en la posible amenaza que supone los avances de terapia genética en su uso como método de dopaje.

2.1. Conceptos básicos de genética

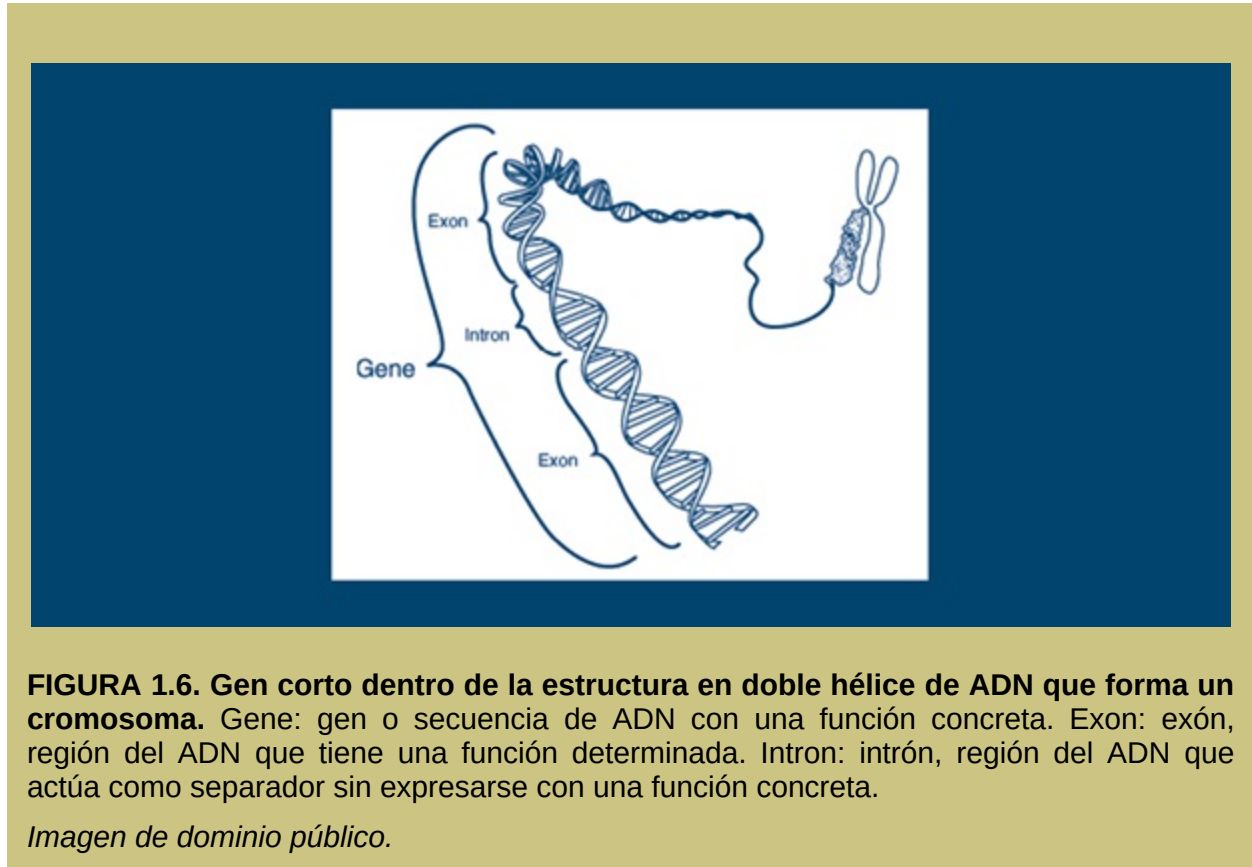
El término **genética** proviene de la palabra griega “γένος”, que puede traducirse por raza o generación. Actualmente, la genética se define como la ciencia dedicada al estudio de los patrones de la **herencia biológica**, es decir, al modo en que los rasgos y las características se transmiten en una especie de generación en generación.

La genética como ciencia se inicia a partir de los experimentos del austríaco Gregor Johan Mendel, quien en 1866 formuló las tres leyes fundamentales que rigen el proceso de herencia genética, también denominadas **Leyes de Mendel** (Dunn, 2003). Posteriormente, importantes descubrimientos como la identificación por Watson y Crick (1953) de la estructura de doble hélice de la molécula de **ADN** (figura 1.6) o, en 2003, la secuencia completa del **genoma humano** (Collins *et al.*, 2003) han supuesto una importante revolución en este campo científico.

Una vez conocida la secuencia de nucleótidos que componen el genoma humano y gracias al gran desarrollo de los sistemas de análisis genético (Cuzin, 2001), actualmente todos los esfuerzos están centrados en la identificación de las funciones asociadas a cada gen (Lippi, 2008; Sharp *et al.*, 2009). Esta nueva línea de investigación, denominada **genómica funcional**, está haciendo posible conocer las funciones reguladas por cada gen, y en un futuro no muy lejano se podrá intervenir de forma concreta sobre cualquier rasgo fenotípico.

La combinación de todos los genes heredados de un organismo (**genotipo**)

determina en gran medida sus características anatómicas, bioquímicas, fisiológicas y conductuales (**fenotipo**). Sin embargo, son diversos los factores ambientales que condicionan esta expresión fenotípica a lo largo de todo el ciclo vital.



El genotipo humano está organizado en cromosomas que contienen toda la información necesaria para el desarrollo básico del individuo. Los **cromosomas** son largas secuencias de moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) que adoptan una estructura de doble hélice y están subdivididas en genes (Watson y Crick, 1953). Estos **genes** son secuencias de ADN que contienen información genética relevante para el control tanto de la estructura como de la función y el comportamiento de todas las células del organismo. Sin embargo, menos del 5% de la secuencia de ADN contiene información genética útil.

Gracias a la publicación de la secuencia completa del genoma humano, actualmente conocemos que está compuesto por 23 pares de cromosomas (22 pares de autosomas + 2 cromosomas sexuales: X, Y). Estos cromosomas

tienen un tamaño aproximado de 3.200 millones de pares de bases de ADN, que a su vez contienen de 20.000 a 30.000 genes (Collins *et al.*, 2003). Aunque la mayor parte de la secuencia del genoma es homogénea, alrededor de uno de cada 100-1.500 nucleótidos es polimórfico, es decir, tiene una base en un cromosoma distinta a la del otro. Tales **polimorfismos** tienen consecuencias sobre la expresión de las proteínas o sobre su estructura, lo que hace que en la práctica se pueda observar rasgos fenotípicos distintos. Cabe destacar que el 99,9% de los 3 billones de nucleótidos contenidos en el genoma son idénticos en todos los seres humanos, siendo el 0,1% restante el responsable de la **diversidad genética** existente entre individuos (Sharp, 2008).

2.2. Genes asociados al rendimiento deportivo

El entrenamiento deportivo, entendido como una constante búsqueda del rendimiento, ha experimentado grandes avances en las últimas décadas. Las aportaciones de ciencias afines como la fisiología, la nutrición o la psicología, entre otras, han incrementado notablemente la calidad de los programas de entrenamiento y han permitido importantes mejoras de las **marcas deportivas** (figura 1.7). A pesar de los récords más recientes, como los de Usain Bolt, Yelena Isinbayeva, Michael Phelps o Kenenisa Bekele, la progresión de las marcas, por ejemplo en carreras de atletismo (Peiser y Reilly, 2004) y natación (Newil *et al.*, 2007), es cada vez menor, lo que hace pensar en una capacidad de **mejora limitada** que no se encuentra lejos de su máximo.

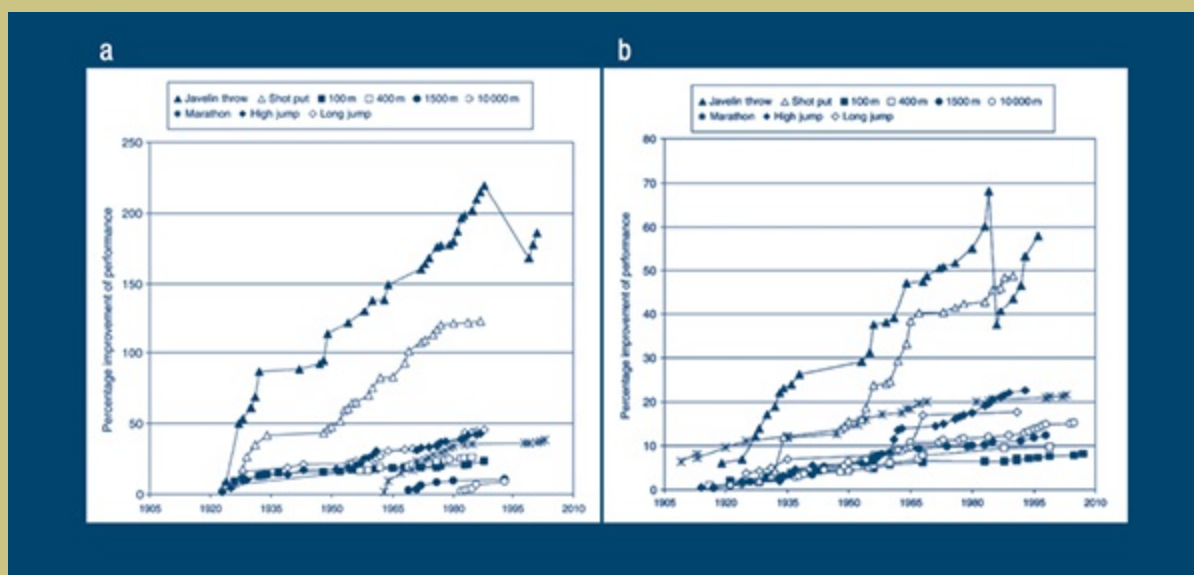


FIGURA 1.7. Progresión de los récords del mundo en 9 disciplinas olímpicas de atletismo desde 1900 a 2007: (a) mujeres, (b) hombres. *Percentage improvement of performance* = porcentaje de incremento del rendimiento; *Javelin throw* = lanzamiento de jabalina; *Shot put* = lanzamiento de peso; *Marathon* = maratón; *High jump* = salto de altura; *Long jump* = salto de longitud. Obsérvese que en general la mejora relativa del rendimiento deportivo es mayor en mujeres que en hombres, siendo casi el doble en las diferentes especialidades. Los mayores incrementos se observan en lanzamiento de jabalina y lanzamiento de peso. La mejora del tiempo de carrera está directamente relacionada con la distancia de carrera. También existe un constante modelo lineal significativo de la progresión de los récords del mundo en el tiempo, aunque la mejora sustancial se ha detenido o alcanzado una meseta en varias especialidades. La tendencia observada podría explicarse por una variedad de factores, que comprenden los cambios sociales y ambientales, la selección natural, los avances en el entrenamiento y la fisiología del deporte, las ayudas ergogénicas y posiblemente el dopaje.

Reproducido con permiso de Lippi G et al. Br Med Bull 2008;87:7-15.

Los importantes avances científicos experimentados en los últimos años en el ámbito deportivo no han conseguido explicar las causas por las que un sujeto alcanza elevados niveles de rendimiento. La constante lucha entre los que afirman que los **deportistas de elite** han nacido con unos **rasgos especiales** y los que defienden que los rasgos asociados al rendimiento han sido desarrollados a través de **factores ambientales** como el entrenamiento no es más que una simplificación vaga de un fenómeno tremendamente complejo (Davids y Baker, 2007). Numerosos estudios han puesto de manifiesto que la adquisición de las habilidades deportivas no es meramente el resultado del volumen de práctica, siendo la herencia genética, junto con

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

otros factores, como el estado general del deportista, el programa de entrenamiento o la alimentación, los responsables del rendimiento deportivo (Williams y Folland, 2008; Andersen *et al.*, 2000; Bouchard *et al.*, 1997; Marian *et al.*, 1994). Por tanto, los deportistas que han alcanzado elevadas cotas de rendimiento constituyen una confluencia poco habitual de un potencial genético extraordinario desarrollado bajo los factores ambientales adecuados (González-Freire *et al.*, 2009; Myburgh, 2003).

Gracias a las aportaciones de múltiples estudios, realizados fundamentalmente durante las últimas tres décadas, podemos afirmar que los factores genéticos explican entre un 20% y un 80% de la varianza de muchos de los rasgos fenotípicos relevantes para el rendimiento deportivo, tales como el consumo de oxígeno, el gasto cardíaco o la proporción relativa de fibras rápidas y lentas en el músculo esquelético (MacArthur y North, 2007; Wolfarth *et al.*, 2005; Patel y Greydanus, 2002; An *et al.*, 2000; Bouchard *et al.*, 1998; Simoneau y Bouchard, 1995).

Resulta ampliamente conocido que el rendimiento deportivo está condicionado por diversos rasgos fenotípicos directamente relacionados con la modalidad deportiva en cuestión. Las primeras evidencias importantes acerca de la influencia que el componente genético tiene sobre el rendimiento deportivo provienen de estudios de tipo cuantitativo que compararon a individuos estrechamente relacionados (familiares directos y hermanos gemelos) respecto a otros que no tenían relación alguna entre sí, tratando de estimar la heredabilidad de determinados rasgos fenotípicos asociados fundamentalmente a la resistencia aeróbica (Bouchard *et al.*, 1997). Muchos de estos datos provienen del “HERITAGE Family Study”, en el que entre otros aspectos se valoró el nivel de adaptación entre dos generaciones de 130 familias sometidas a un programa estandarizado de resistencia aeróbica de 20 semanas de duración (Bouchard *et al.*, 1995). La heredabilidad de cada uno de los rasgos fenotípicos asociados a la resistencia aeróbica osciló entre un 20% y un 75%, incluidos el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.) (Bouchard *et al.*, 1998) y su adaptación al entrenamiento (Bouchard *et al.*, 1999), el VO₂ máx. y la potencia alcanzada en esfuerzo submáximo (Perusse *et al.*, 2001), el VO₂ máx. y el umbral ventilatorio (Gaskill *et al.*, 2001), el volumen de eyección y el gasto cardíaco en esfuerzo submáximo (An *et al.*, 2000), y la frecuencia cardíaca en esfuerzo (An *et al.*, 2003).

Los denominados estudios de expresión genética en los que se examina la expresión fenotípica de los genes en determinados tejidos han permitido,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

entre otros muchos avances, conocer las características genéticas del tejido muscular de diferentes grupos de deportistas, así como su capacidad de adaptación ante diferentes programas de entrenamiento.

Actualmente, los estudios de identificación de “**genes diana**” están centrando la mayor parte de los esfuerzos en la investigación genética asociada al rendimiento deportivo. En la última edición del mapa genético humano se recogen más de 200 genes o regiones genéticas asociadas al rendimiento deportivo o a determinadas capacidades condicionales (Bray *et al.*, 2009). Mediante el análisis de las secuencias de ADN de determinados genes considerados relevantes para el rendimiento deportivo, estos estudios pretenden explicar la varianza fenotípica e identificar los **perfiles genéticos** más idóneos para cada **especialidad deportiva** (Brutsaert y Parra, 2006).

Si bien en la práctica resulta poco probable la identificación de genes capaces de explicar a título individual la variabilidad del rendimiento deportivo, son numerosos los estudios que ponen de manifiesto la **influencia poligénica** del rendimiento deportivo (Bray *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2009; Williams y Folland, 2008; Rankinen *et al.*, 2006). Esto justificaría en buena medida las numerosas diferencias observadas entre estudios que han tratado de establecer el grado de influencia que la genética tiene sobre diferentes rasgos fenotípicos (Frederiksen y Christensen, 2003). Es probable que las diferentes metodologías utilizadas y la heterogeneidad de las muestras analizadas sean responsables en buena parte de tales resultados, que pueden observarse en la tabla 1.1.

TABLA 1.1. Estudios que han analizado la influencia genética sobre los principales factores asociados al rendimiento deportivo

Autor	Año de publicación	Fenotipo	Tipo de estudio	Sujetos*	Heredabilidad	
					Hombres	Mujeres
Capacidades físicas						
Bouchard	1998	V _{O₂} máx.	Familiar	86	50%	
Sundet	1994	V _{O₂} máx.	Gemelos	1.058	62%	
Fagard	1991	V _{O₂} máx.	Gemelos	48	20-66%	
Katzmarzyk	2001	Fuerza y resistencia muscular y flexibilidad	Familiar	502	48-59%	
Arden	1997	Fuerza de prensión manual y de extensión de rodilla	Gemelos	353	36-46%	
Reed	1991	Fuerza de prensión manual	Gemelos	257	65%	
Carmelli	2000	Fuerza de prensión manual	Gemelos	152	22-35%	
Frederiksen	2002	Fuerza de prensión manual	Gemelos	1.757	52%	
Perusse	1987	Fuerza de extensión de rodilla. Resistencia muscular	Familiar	375	30%	21%
Carmeli	2000	Funcionalidad de las extremidades inferiores	Gemelos	187	57%	
Thomis	1997	Fuerza de flexión de hombros. Área transversal del músculo	Gemelos	41	70%	92%
Christensen	2000	Funcionalidad de las actividades de la vida diarias	Gemelos	480	0%	34%
Christensen	2002	Variación en la funcionalidad de las actividades diarias	Gemelos	127	9%	16%
Thomis	1998	Entrenabilidad de la fuerza muscular	Gemelos	41	20%	
Fox	1996	Entrenabilidad de habilidades motrices	Gemelos	96	66%	
Actividades físicas						
Perusse	1989	Predominio de 15 min de actividad física diaria	Familiar	375	29%	
Lauderdale	1997	Participación en actividades físicas de tiempo libre	Gemelos	3.344	38-50%	
Koopmans	1994	Participación en deportes	Gemelos	1.587	45%	
Kaprio	1981	Participación en actividades físicas de tiempo libre	Gemelos	5.044	62%	
Frederiksen	2002	Participación en deportes	Gemelos	1.258	49%	

*Número de parejas de gemelos o familias.

Adaptado de Frederiksen H y Christensen K. Scand J Med Sci Sports 2003;13:9-18.

Entre los **genes diana** más estudiados podemos destacar dos: la enzima convertidora de la angiotensina o **ACE** (Williams *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 2002), y la α -3-actinina o **ACTN3** (MacArthur y North, 2007; Mills *et al.*, 2001). Como veremos a continuación, el número de estudios de asociación genética relacionados con la salud y el rendimiento se han multiplicado de forma exponencial en las dos últimas décadas (figura 1.8), y las principales conclusiones de estos estudios apuntan hacia la existencia de diferencias en la capacidad de rendimiento deportivo relacionadas con determinados polimorfismos genéticos.

Gen codificador de la enzima convertidora de la angiotensina

Entre los genes diana asociados al rendimiento deportivo destaca el estudio del polimorfismo I/D del **gen codificador de la enzima convertidora de la angiotensina (ACE)**, de la que se distinguen 3 variantes: **II**, **ID**, **DD** (Rigat *et al.*, 1990). Según la mayoría de los estudios, existe una relación entre los polimorfismos del gen ACE y el rendimiento en determinadas especialidades deportivas (Jones *et al.*, 2002; Nazarov *et al.*, 2001; Woods *et al.*, 2001; Myerson *et al.*, 1999; Gayagay *et al.*, 1998; Montgomery *et al.*, 1998). Además, se han encontrado diferencias en la prevalencia de estos polimorfismos genéticos entre distintos grupos étnicos y poblacionales (Brutsaert y Parra, 2006).

El **polimorfismo II del gen ACE** parece estar relacionado con la capacidad de **resistencia**. A este respecto, Montgomery *et al.*, (1998) encontraron una mayor frecuencia del alelo I en 25 montañeros británicos de alta montaña respecto a un amplio grupo de sujetos de control sedentarios. Similares resultados encontraron Gayagay *et al.*, (1988) en 64 remeros australianos de resistencia. Por su parte, el **polimorfismo DD** parece estar relacionado con el rendimiento en pruebas de **velocidad** o potencia. Así, Woods *et al.*, (2001) encontraron una mayor frecuencia del alelo D en 35 nadadores de elite de corta distancia. Otros estudios, como los de Nazarov *et al.*, (2001) y Myerson *et al.*, (1999), realizados sobre amplios grupos de atletas, mostraron una mayor presencia del alelo II entre los especialistas de pruebas de resistencia de larga duración, mientras que la presencia del alelo DD fue superior entre los especialistas de pruebas cortas de velocidad. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes y deben ser tomados con cautela, no pudiéndose calificar al gen ACE como el “gen del rendimiento deportivo”, sino más bien como un gen cuyos polimorfismos facilitan el logro de elevados rendimientos en determinadas especialidades deportivas (Jones *et al.*, 2002).

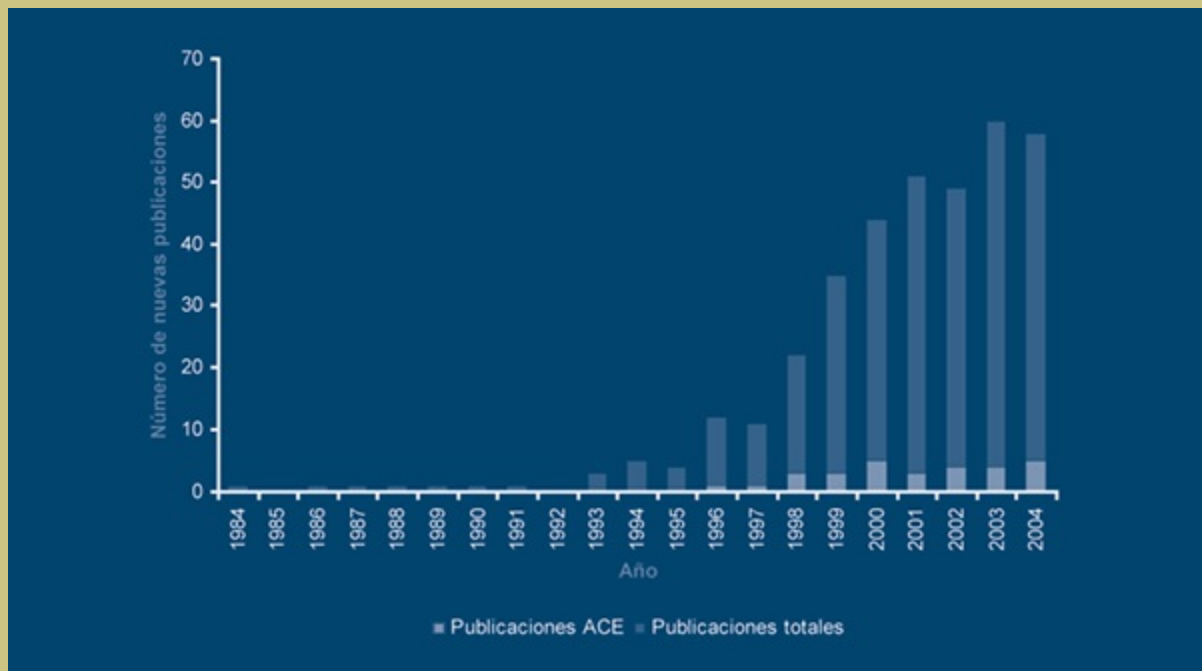


FIGURA 1.8. Incremento del número de estudios de asociación genética relacionados con la salud y el rendimiento deportivo desde 1984 hasta 2004. ACE: gen codificador de la enzima convertidora de la angiotensina. Obsérvese que la influencia de la genética sobre el rendimiento deportivo es objeto de estudio desde hace pocos años. Esto determina el escaso conocimiento actual y las elevadas perspectivas que se esperan de los futuros estudios para explicar el rendimiento en las distintas modalidades deportivas.

Adaptado de Brutsaert TD y Parra EJ. Respir Physiol Neurobiol 2006;151:109-23.

Gen codificador de la α -actinina-3

Otro gen potencialmente asociado al rendimiento deportivo es el **gen codificador de la α -actinina-3 (ACTN3)**, responsable de la codificación de la proteína α -actinina-3 (North *et al.*, 1999). Entre otras funciones de tipo nervioso y metabólico, esta proteína forma parte del sistema contráctil de las fibras musculares de tipo rápido, facilitando la capacidad de generar fuerza en acciones explosivas (Macarthur y North, 2005). El polimorfismo R/X del gen ACTN3 permite diferenciar 3 variantes: XX, RX y RR. Según la mayoría de los estudios, existe una relación entre los polimorfismos del gen ACTN3 y el rendimiento en determinadas especialidades deportivas (MacArthur y North, 2007; Vincent *et al.*, 2007). Tal y como ponen de manifiesto diversos estudios, el **genotipo RR** parece estar asociado a la capacidad para generar

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

fuerza explosiva (Druzhevskaya *et al.*, 2008; Niemi y Majamaa, 2005; Yang *et al.*, 2003). Niemi y Mojamma (2005) observaron, al analizar a 52 fondistas y 89 esprinteres, que estos últimos presentaban en mayor proporción el genotipo RR. También Yang *et al.*, (2003) encontraron una mayor proporción de genotipo RR en deportistas de velocidad y potencia respecto a un grupo de control y deportistas de resistencia (figura 1.9). Druzhevskaya *et al.*, (2008) encontraron una menor proporción del **genotipo XX** en un grupo de 486 atletas rusos de especialidades de fuerza respecto a un grupo de control de 1.197 individuos.

Otros muchos polimorfismos genéticos están siendo estudiados en relación con el rendimiento deportivo, y sin lugar a dudas en los próximos años los estudios de asociación genética van a seguir en aumento (Lippi *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2009) (tabla 1.2). Sin embargo, los problemas que conlleva la valoración de determinados rasgos fenotípicos asociados al rendimiento y el coste que supone el análisis genético en muestras amplias son un obstáculo importante que deberemos superar si queremos seguir avanzando hacia una mayor comprensión del papel que desempeña la genética en el rendimiento deportivo (Davids y Baker, 2007).

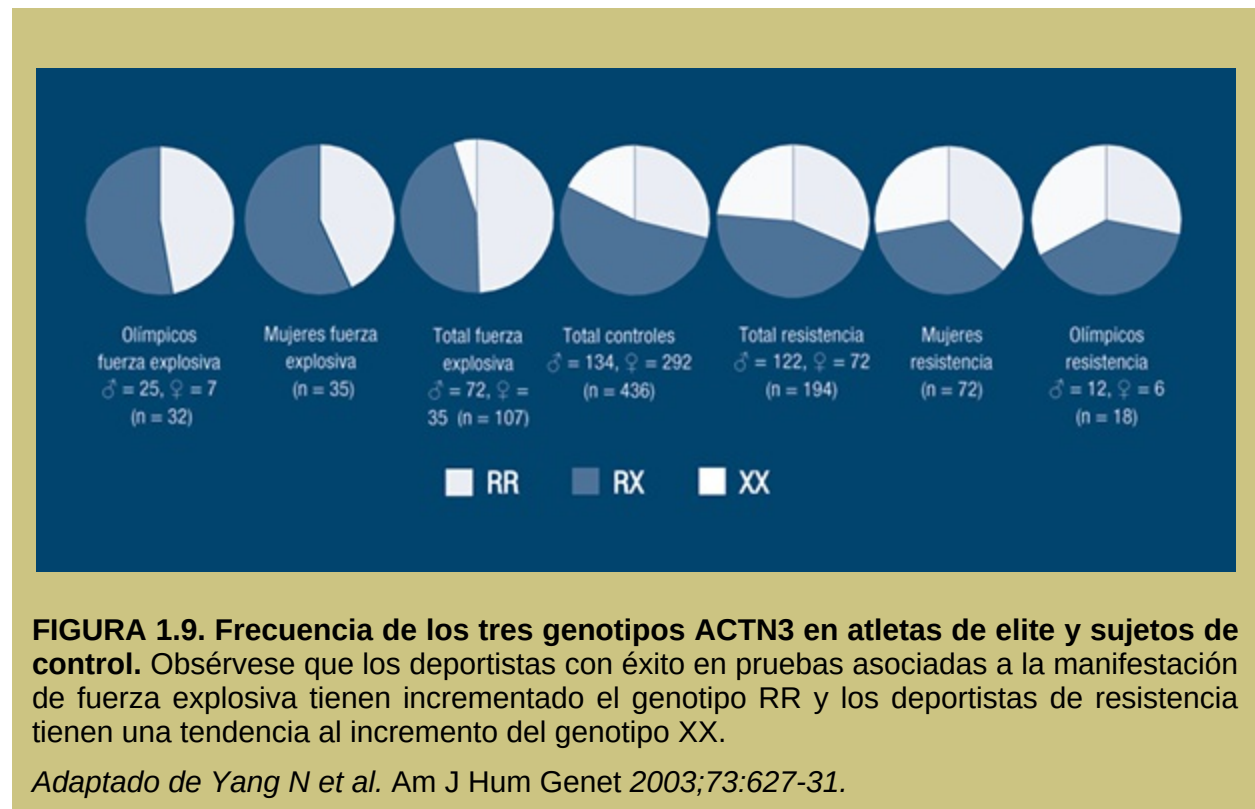


TABLA 1.2. Principales genes diana asociados con el rendimiento deportivo

<i>Capacidad de resistencia</i>
PPARD
Factores respiratorios nucleares (NRF2)
PGC-1 α
HIF-1 α
EPAS-1 y HIF-2 α
Hemoglobina
Glucógeno sintetasa del músculo esquelético (GYS1)
ADRB2
CHRM2
VEGF
<i>Rendimiento muscular</i>
CK-MM
ACTN3
MLCK
ACE
AMPD1
IGF-1
<i>Aparato tendinoso</i>
Grupo sanguíneo ABO
COL1A1 y COL5A1
TNC
<i>Aptitud psicológica</i>
Gen transportador de la serotonina (SHTT)
BDNF
UCP2

Adaptado de Lippi G et al. Br Med Bull 2009; Feb 9. [Epub ahead of print.]

2.3. Dopaje genético y rendimiento deportivo

El dopaje, entendido como el uso de medios artificiales o sustancias con el objetivo específico de mejorar el rendimiento a pesar de los efectos adversos sobre la salud (Lippi y Guidi, 1999), constituye un problema global en el deporte de elite. En la actualidad, la aparición de casos de dopaje es un hecho más frecuente de lo deseable que mancha la imagen del deporte a la vez que constituye un riesgo para la salud de los deportistas. La evolución de las sustancias y los métodos de dopaje utilizados por los deportistas ha sido espectacular en los últimos años, y en plena era posgénica el temor hacia el

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

denominado **dopaje genético** se cierne sobre el deporte mundial (Gaffney y Parisotto, 2007).

La **terapia genética** consiste en la transferencia de material genético (secuencia terapéutica de ADN) en las células humanas para el tratamiento o la prevención de enfermedades o alteraciones patológicas (Haisma y de Hon, 2006; Sweeney, 2004). Gracias a la introducción de una secuencia terapéutica de ADN en un organismo, éste es capaz de sintetizar la proteína defectuosa o ausente para reparar el tejido o el órgano dañados.

Utilizando los principios básicos de la terapia genética, el dopaje genético consiste en la introducción directa en el organismo del deportista de una secuencia de ADN que repara la actividad de un gen deficiente o la modula consiguiendo una mejora de su rendimiento deportivo (Gaffney y Parisotto 2007). De hecho, la Agencia Mundial Antidopaje (WADA) define el dopaje genético como el uso no terapéutico de los genes, elementos genéticos y/o células que tiene capacidad para mejorar el rendimiento deportivo (Unal y Ozer Unal, 2004).

Teóricamente, cualquier proceso fisiológico implicado en la ejecución de una acción motriz constituye una posible vía de dopaje genético (Gaffney y Parisotto, 2007). El proceso fisiológico de la respiración pulmonar, la circulación cardiovascular, el intercambio de O_2 , la eficacia y el desarrollo de los músculos estriados e incluso la coordinación neuromuscular pueden ser modificados mediante terapia genética para que el deportista alcance superiores cotas de rendimiento (Gaffney y Parisotto, 2007; Haisma y de Hon, 2006; Pincock, 2005; Sweeney, 2004; Unal y Ozer Unal, 2004). Igualmente, y aunque de forma más sutil, diversos procesos neuropsicológicos como la motivación, la focalización de la atención y la capacidad de recuperación ante la fatiga del sistema nervioso central pueden ser objetivo del dopaje genético.

La lista de factores de rendimiento es larga y en muchos casos se ve limitada por el nivel del conocimiento actual sobre fisiología y psicología; sin embargo, cada vez son más numerosos los genes candidatos para la posible aplicación de dopaje genético (Gaffney y Parisotto, 2007; Azzazy *et al.*, 2005) (tabla 1.3).

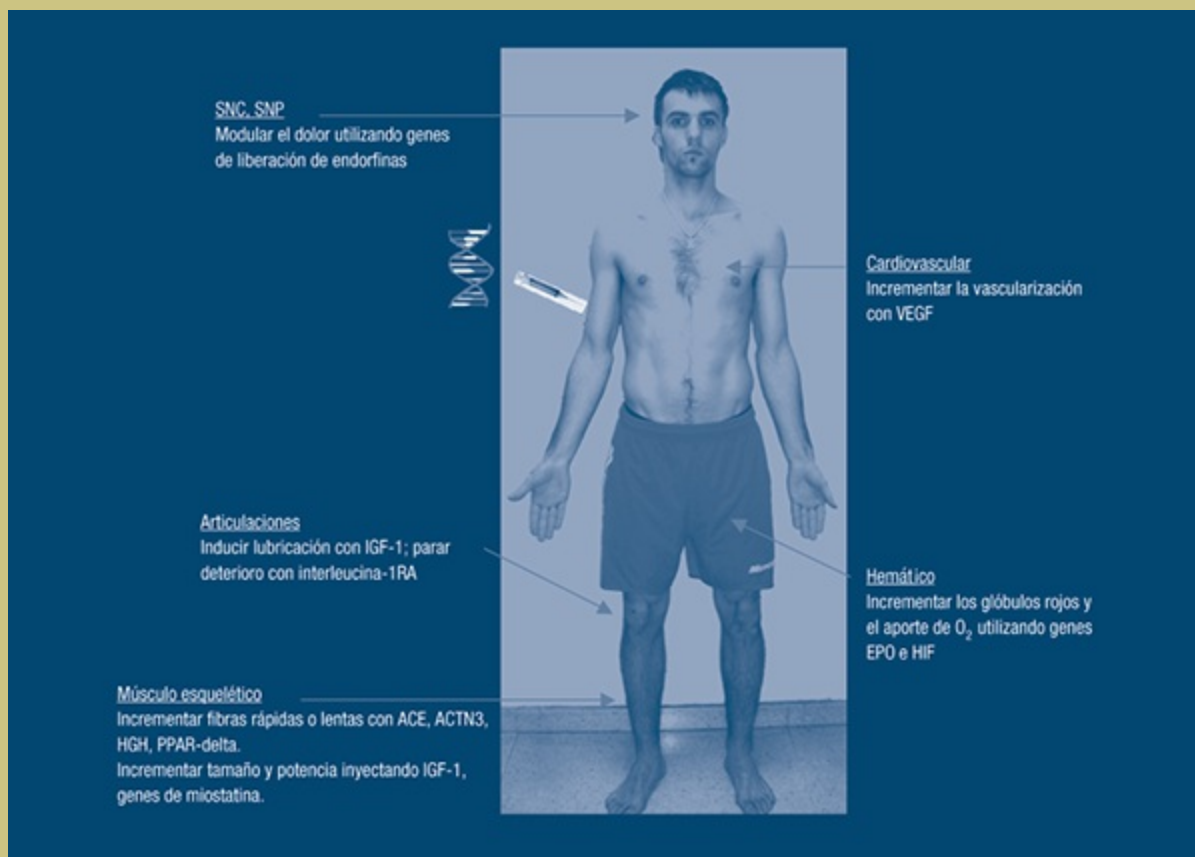


FIGURA 1.10. Genes y tejidos objeto de dopaje genético. Obsérvese la variedad de sistemas sobre los que el dopaje genético puede influir en la mejora del rendimiento deportivo. (Para abreviaturas, véase tabla 1.3.)

Adaptado de Gaffney GR y Parisotto R. Pediatr Clin North Am 2007;54:807-22, xii-xiii. Con permiso del deportista.

Al igual que cualquier otro método de dopaje, la manipulación genética con el objetivo de incrementar de forma ilícita el rendimiento deportivo supone una alteración de la competición y conlleva toda una serie de **riesgos para la salud** del deportista (Gaffney y Parisotto, 2007; Patel y Greydanus, 2002). Si analizamos la historia, encontramos diversos ejemplos sobre los efectos secundarios y en ocasiones fatales derivados de la manipulación genética (p. ej., respuestas inmunitarias del organismo, desarrollo de patologías como leucemia, etc.) (Baoutina *et al.*, 2008; McCrory, 2003). Sin embargo, pese a los graves riesgos para la salud y de los estrictos controles antidopaje establecidos por las autoridades responsables con la WADA a la cabeza, todo apunta a que el dopaje genético será en pocos años el principal

método de dopaje en el deporte de elite (McCrorry, 2003; Friedmann y Koss, 2001).

TABLA 1.3. Genes candidatos para la aplicación de dopaje genético

<i>Gen / producto</i>	<i>Sistema / órgano diana</i>	<i>Propiedades del gen</i>	<i>Respuesta fisiológica</i>
ACE	Músculo esquelético	Peptidil-dipeptidasa	ACE-D está implicada en las fibras musculares rápidas. ACE-I parece correlacionar con la resistencia
ACTN3	Músculo esquelético	Proteínas de unión con la actina relacionadas con la distrofina	Implicada en las fibras musculares rápidas
Endorfinas	Sistema nervioso central y periférico	Péptidos de amplia actividad	Modulación del dolor
EPO	Sistema hematopoyético	Hormona glucoproteína	Incremento de la masa RBC y de la distribución de oxígeno
HGH	Sistema endocrino	Proteína 191 aminoácidos	Incrementa el tamaño muscular, la potencia y la recuperación
HIF	Sistema hemático e inmunitario	Proteína multisubunidad	Regula la transcripción ante los elementos de respuesta a la hipoxia
IGF-1	Sistema metabólico y endocrino. Músculo esquelético	Proteína 70 aminoácidos	Incrementa el tamaño muscular, la potencia y la recuperación, aumentando la regulación celular
Miostatina	Músculo esquelético	Proteína 2 subunidades	Regula el músculo esquelético. Inhibe los incrementos del tamaño muscular, la potencia y la recuperación
PPAR-delta	Músculo esquelético y tejido adiposo	Proteína receptora de la hormona nuclear	Estimula el metabolismo de las grasas e incrementa el número de fibras musculares lentas
VEGF	Endotelio vascular	Homodímeros disulfuro glucosilados	Induce el desarrollo de nuevos vasos sanguíneos

ACE: enzima convertidora de la angiotensina; ACTN3: proteína 3 de unión de la actina; EPO: eritropoyetina; HGH: factor de crecimiento humano; HIF: factor de inducción de la hipoxia; IGF-1: factor de crecimiento de la unión de la insulina; PPAR-delta: receptor de proliferadores activados de la preoxisoma (delta); VEGF: factor de crecimiento del endotelio vascular; RBC: glóbulos rojos.

Adaptado de Gaffney GR y Parisotto R. Pediatr Clin North Am 2007;54:807-22, xii-xiii.

Síntesis

- Los deportistas que alcanzan elevadas cotas de rendimiento constituyen una confluencia poco habitual de un potencial genético extraordinario desarrollado bajo los factores ambientales adecuados.
- Los factores genéticos explican entre un 20% y un 80% de la varianza de

muchos de los rasgos fenotípicos relevantes para el rendimiento deportivo, tales como el consumo de oxígeno, el gasto cardíaco o la proporción relativa de fibras rápidas y lentas en el músculo esquelético.

- ▶ Los factores genéticos pueden explicar además el efecto diferencial de adaptación entre diferentes deportistas sometidos a estímulos de entrenamiento semejantes.
- ▶ El rendimiento deportivo está condicionado por diversos rasgos fenotípicos directamente relacionados con cada modalidad deportiva. Por ello, numerosos estudios recientes pretenden identificar los perfiles genéticos más idóneos para cada especialidad deportiva. Este conocimiento puede ser esencial para la detección de talentos deportivos.
- ▶ Entre los genes diana más estudiados se encuentra la enzima conversora de la angiotensina (su polimorfismo II parece estar relacionado con la capacidad de resistencia, y el polimorfismo DD, con la capacidad de fuerza) y el gen codificador de la α -actinina-3, en el cual el fenotipo RR del polimorfismo R/X parece asociarse con la capacidad para manifestar fuerza explosiva.
- ▶ La terapia genética consiste en la transferencia de material genético a las células humanas para el tratamiento o la prevención de enfermedades o alteraciones patológicas. Su utilización en deportistas es una de las principales amenazas de dopaje.

Cuestionario de asimilación

1. Indica por qué el rendimiento de los corredores africanos se ha incrementado significativamente en las últimas décadas.
2. Indica si consideras que un deportista especialmente dotado genéticamente para el rendimiento de una determinada modalidad deportiva tiene garantizado el éxito deportivo.
3. Indica si consideras que un deportista no dotado genéticamente para el rendimiento de una determinada modalidad deportiva puede obtener óptimos resultados en esa modalidad deportiva.
4. Establece la posible relación entre el análisis genético y la detección de talentos deportivos.

- 5.** Enumera los genes que más se han relacionado con el rendimiento deportivo.
- 6.** Indica qué genes se han identificado predominantemente en deportistas de fuerza.
- 7.** Indica qué genes se han identificado predominantemente en deportistas de resistencia.
- 8.** Indica si consideras que la información genética puede explicar el posible potencial del deportista y/o de su capacidad de adaptación a determinados estímulos de entrenamiento.
- 9.** Ante la ausencia de un análisis genético, ¿puedes determinar mediante otras pruebas si un deportista está o no dotado genéticamente para el rendimiento en una determinada modalidad deportiva?
- 10.** Establece en qué se basa el dopaje genético.

Entorno vital y de entrenamiento y rendimiento deportivo

Alejandro Legaz-Arrese, Joaquín Reverter Masía

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los principales factores que determinan el entorno vital y el entorno de entrenamiento de un deportista.
- Comprender que la dimensión humana del deportista es determinante para optimizar el rendimiento deportivo.
- Comprender que la remuneración económica y la estabilidad laboral en el futuro son determinantes para que los deportistas, especialmente si son promesas, se dediquen prioritariamente al proceso de entrenamiento deportivo.
- Comprender que un equipo multidisciplinario de trabajo especializado y en continua formación es determinante para maximizar el rendimiento deportivo.
- Comprender que el equipo multidisciplinario de trabajo y los deportistas deben tener las instalaciones, materiales y recursos tecnológicos adecuados al nivel de rendimiento que se pretende conseguir.
- Podrás comprobar con ejemplos reales que los factores asociados al entorno vital y de entrenamiento de los deportistas, incluida la inversión económica para el desarrollo de un sistema de deportistas de alto nivel, pueden explicar incrementos significativos de rendimiento de determinados grupos de población y países.

Índice

3.1. Entorno vital del deportista

3.2. Entorno de entrenamiento del deportista

3.3. Evidencia de la influencia del entorno del deportista sobre el rendimiento deportivo

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El potencial de un perfil genético extraordinario para el rendimiento en una determinada modalidad deportiva sólo puede aprovecharse con un adecuado proceso de entrenamiento. Además de la correcta dosificación y secuenciación del estímulo de entrenamiento, el proceso de entrenamiento requiere unas condiciones básicas que sean acordes al nivel de rendimiento exigido. Estas condiciones básicas deben considerar el entorno vital del deportista y el entorno de entrenamiento. Este apartado analiza desde una perspectiva reflexiva las variables más importantes que influyen en el entorno vital y de entrenamiento del deportista, y establece ejemplos que resaltan su influencia sobre el rendimiento.

3.1. Entorno vital del deportista

La optimización del rendimiento deportivo requiere que las instituciones y los profesionales involucrados en el desarrollo de la elite deportiva pongan al servicio de los deportistas los recursos y condiciones que determinen un **entorno vital** y de entrenamiento acorde con las exigencias que requiere el entrenamiento de alto nivel. Sánchez Bañuelos (2003) destaca las condiciones básicas de vida, la estabilidad emocional, el reconocimiento social y las perspectivas de futuro como factores determinantes del entorno vital del deportista (figura 1.11).

De acuerdo con Sánchez Bañuelos (2003), en primer lugar debe considerarse la **dimensión humana** del deportista. Como se ha destacado previamente, el entrenador, como responsable del proceso de entrenamiento del deportista, debe tener capacidad de liderazgo y promover las **relaciones socioafectivas** entre todos los sujetos que componen el equipo multidisciplinario con el fin de generar un ambiente de trabajo agradable. Es fundamental también que el deportista mantenga su círculo de relaciones personales con amigos, compañeros y familiares. Así, las instituciones, a través de las residencias de los deportistas, y los entrenadores deben fomentar las relaciones personales del deportista, siendo flexibles en las normativas, concentraciones, etc. Un interesante debate es si, para la optimización del rendimiento deportivo, es necesario que el deportista abandone su lugar de origen, alejándose de su principal entorno socioafectivo, para residir en un Centro de Alto Rendimiento Deportivo, donde teóricamente el entorno de entrenamiento es más apropiado. No parece existir una respuesta fija.

Muchos deportistas han alcanzado un elevado rendimiento deportivo sin abandonar su lugar de origen. Ciertamente, un análisis de cada situación concreta, atendiendo a las características psicológicas del deportista y a su entorno de entrenamiento, debe conducir a la decisión correcta. Así, un deportista capacitado para un óptimo rendimiento difícilmente podrá alcanzarlo si en su ciudad de residencia no dispone de los recursos humanos, materiales, tecnológicos y de infraestructura que requiere su deporte. En cambio, otro deportista que no precise para su deporte de sofisticadas infraestructuras y equipamientos podrá obtener un elevado rendimiento residiendo en su ciudad de origen si dispone de un equipo técnico de suficiente nivel. A este respecto, el desarrollo deportivo de un país es clave. Una mayor proliferación y adecuación por todo el territorio de las instalaciones deportivas y de los centros de valoración del deportista, así como un incremento de la calidad formativa de los técnicos deportivos y del equipo multidisciplinario de trabajo, pueden permitir que el deportista viva en su ciudad de origen, realizando concentraciones puntuales en los Centros de Alto Rendimiento Deportivo con el fin de realizar entrenamientos o pruebas de valoración más especializadas.

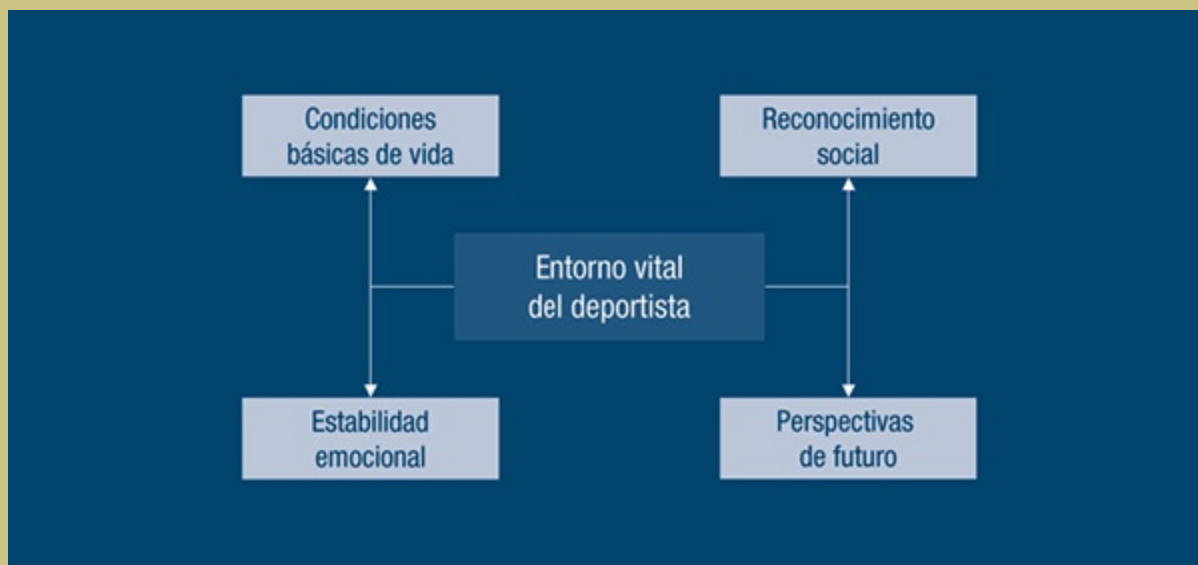


FIGURA 1.11. Factores que determinan el entorno vital del deportista. Obsérvese la variedad de factores que, asociados al entorno vital del deportista, pueden influir en el rendimiento deportivo.

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Conceptos y sistemas de desarrollo del alto rendimiento deportivo. COE-UAM 2003.

Mantener las **motivaciones** por las que un deportista decide someterse al duro trabajo que conlleva el proceso de entrenamiento es esencial para maximizar el rendimiento deportivo. Aunque no es el objetivo de este apartado realizar un análisis de las distintas motivaciones, el que el deportista sienta reconocidos socialmente sus éxitos deportivos parece ser determinante para su estabilidad emocional y para mantener la constancia del entrenamiento. Este aspecto debe ser cuidado especialmente en los deportes con menor **repercusión social**. Es, por tanto, función de todos los estamentos deportivos, incluidos los medios de comunicación, la promoción de todas las modalidades deportivas y la difusión de los resultados obtenidos por los deportistas más destacados. Sobre este aspecto hay que resaltar que la repercusión social que tiene en un país el rendimiento de un deportista es determinante para incrementar el número de practicantes de una determinada modalidad deportiva y, finalmente, para que emerjan nuevos deportistas que garanticen el éxito deportivo en el futuro. De hecho, este aspecto, que determina un contexto sociocultural diferenciado entre países, es considerado como uno de los factores que explican por qué determinados países tienen éxito deportivo en unos deportes concretos.

Además del reconocimiento social, como cualquier persona, el deportista debe ser recompensado económicamente por su trabajo. La **remuneración económica** debe permitir al deportista disponer al menos de unas **condiciones de vida** equivalentes a las del resto de la población activa. Además, dada la corta trayectoria que tiene la vida deportiva al máximo nivel de rendimiento, el fomento de estrategias que al menos faciliten al deportista la adquisición de un perfil profesional para el futuro resulta relevante para que éste pueda mantener una dedicación prioritaria al proceso de entrenamiento. Probablemente, resulta menos eficaz y más costoso destinar recursos insuficientes a varios deportistas que no priorizan el entrenamiento sobre los estudios u otra actividad laboral que destinar los recursos suficientes para que un menor grupo de deportistas se dediquen prioritariamente al proceso de entrenamiento deportivo.

El éxito deportivo de algunos países como la antigua Unión Soviética, la antigua República Democrática Alemana, Cuba y China puede ser atribuido, en parte, a la estabilidad laboral que los estados conceden a sus deportistas. En cambio, en países como España, si exceptuamos a los deportistas con elevada financiación comercial, únicamente los deportistas de categoría

absoluta que alcanzan resultados muy elevados a nivel internacional disponen de los recursos económicos suficientes para dedicarse prioritariamente al entrenamiento deportivo. En numerosos deportes con escasa repercusión mediática, además de verse dificultada la financiación comercial, las correspondientes federaciones y clubes suelen disponer de escasos recursos económicos para ayudar a sus deportistas. Éstos dependen casi exclusivamente de la financiación de las instituciones. La deficiente remuneración económica es todavía más evidente en los deportes con escasa repercusión mediática que además no están incluidos en el programa olímpico, así como en los deportistas de categoría promesa. En todo caso, sólo algunos deportistas capaces de generar elevados recursos comerciales tienen garantizado un **futuro económico** estable. Son numerosos los ejemplos de deportistas de alto nivel que han tenido importantes problemas de **integración laboral** y social al terminar su trayectoria deportiva. Aunque en la mayoría de los países no es concebible que el estado garantice la estabilidad económica de los deportistas, al margen de la importancia para el rendimiento deportivo, resulta incluso ético que desde diferentes instituciones se apliquen normativas que faciliten su integración global en la sociedad. Por ejemplo, actualmente en España estas medidas abarcan desde exenciones fiscales, reserva de plazas para el ingreso en la universidad, convocatoria de ayudas a las universidades que permitan la adaptación de horarios y de exámenes, becas para la formación, ayudas a ex deportistas que se encuentren en una situación socioeconómica o de salud deficiente y una oficina de atención al deportista, hasta distintos programas de orientación laboral a través de la Fundación Addeco.

3.2. Entorno de entrenamiento del deportista

Entre los factores asociados al entorno de entrenamiento, Sánchez Bañuelos (2003) destaca la dedicación prioritaria al entrenamiento deportivo, el apoyo técnico y tecnológico, y las infraestructuras y equipamientos (figura 1.12).

El éxito en la mayoría de las modalidades deportivas requiere numerosas horas de trabajo, así como un adecuado descanso entre las sesiones de entrenamiento. Por tanto, la posibilidad que tiene un deportista de dedicarse prioritariamente al entrenamiento deportivo es un requisito imprescindible para alcanzar el éxito deportivo. Lógicamente, en la mayoría de los casos, como se ha destacado antes, una **dedicación prioritaria** sólo es posible si el

deportista tiene una **remuneración económica** suficiente. Es fundamentalmente en las categorías juvenil y promesa en las que la exigencia del rendimiento deportivo determina que el deportista tenga que decidir si se dedica o no prioritariamente al entrenamiento deportivo. Sin embargo, por ejemplo en España, los **deportistas promesa**, incluidos los pertenecientes a modalidades olímpicas, disponen de una financiación extremadamente insuficiente aunque sus resultados sean extraordinarios. Esto compromete seriamente el proceso de entrenamiento de los potencialmente mejores deportistas absolutos del futuro. Sobre la base de estas condiciones, estos deportistas deben decidir entre continuar con una dedicación prioritaria a la actividad deportiva que no les reporta los recursos económicos suficientes o priorizar otras actividades laborales o de formación. Los países cuyo modelo deportivo se aproxime en mayor medida a una profesionalización de sus deportistas, incluidos los deportistas promesa, tienen garantizada su dedicación prioritaria y un mayor **éxito deportivo**, especialmente si estas medidas abarcan los deportes tradicionalmente no profesionales. La misma reflexión puede extenderse a otros ámbitos de práctica deportiva de alto nivel. Por ejemplo, en un reciente estudio un 22% de los responsables de la preparación física de los equipos masculinos de balonmano, baloncesto, voleibol, fútbol, fútbol sala y hockey hierba que compitieron en la temporada 2004/2005 en las ligas españolas de máxima categoría indicaron que mejoraría el rendimiento de su equipo si los jugadores dispusiesen de más tiempo para dedicarse al proceso de entrenamiento (Reverter *et al.*, 2008). Esta deficiencia fue significativamente más acusada en las ligas no profesionales de balonmano, voleibol y hockey hierba (38%), especialmente en los equipos que terminaron la competición de la mitad de la tabla hacia abajo (60%).

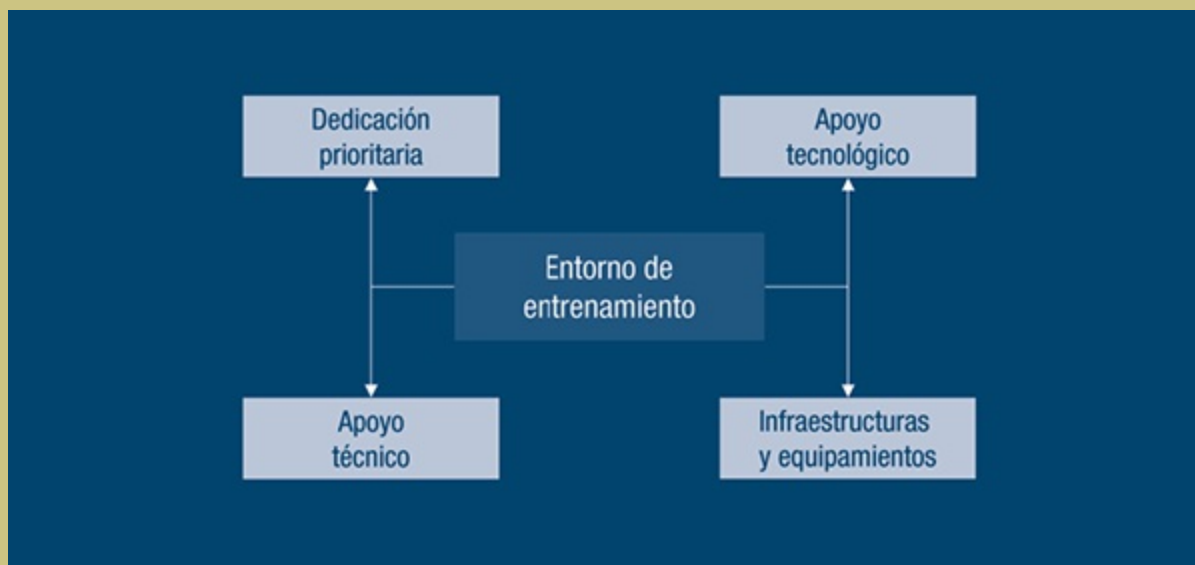


FIGURA 1.12. Factores que determinan el entorno de entrenamiento del deportista. Obsérvese la variedad de factores que, asociados al entorno de entrenamiento del deportista, pueden influir en el rendimiento deportivo.

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Conceptos y sistemas de desarrollo del alto rendimiento deportivo. COE-UAM 2003.

Con el fin de maximizar el rendimiento deportivo, un deportista dedicado prioritariamente al proceso de entrenamiento deportivo debe disponer de un amplio **equipo multidisciplinario de trabajo**, formado por profesionales especializados, con adecuada preparación y dedicación. Para ello, en primer lugar el sistema educativo de un país debe garantizar la suficiente oferta formativa de calidad en los ciclos de formación profesional y en los grados y posgrados universitarios. De especial importancia es que las distintas instituciones públicas o privadas realicen una planificación de sus actividades de formación continua y se fomente la autonomía formativa e investigadora de los distintos profesionales. Además, en la medida de lo posible, el presupuesto del modelo deportivo de un país, de una federación o de un club debe considerar la contratación de los profesionales más cualificados de acuerdo con las necesidades que requiere el proceso de entrenamiento de los deportistas. De forma análoga a los deportistas, este criterio se ve dificultado en los deportes con pocos recursos comerciales. Por ejemplo, en el mencionado estudio de Reverter *et al.*, (2008) todos los equipos de las ligas profesionales de fútbol y baloncesto y de la liga amateur de fútbol sala tenían

contratado como responsable de la preparación física a un graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, en contraste con el 54% de los equipos de las ligas amateur de balonmano, voleibol y hockey hierba. En los programas de desarrollo de los deportes olímpicos algunos países incentivan a los técnicos en función de los resultados de sus deportistas. Actualmente en España, como criterio general, un técnico recibe el equivalente al 50% de la beca otorgada a su deportista.

El deportista requiere la atención de profesionales altamente cualificados en procesos especializados de valoración y control del entrenamiento, de ayudas ergogénicas y nutricionales, de apoyo psicológico, de prevención, diagnóstico y tratamiento de lesiones, y de control sanitario. Habitualmente, los servicios de estos profesionales son requeridos de forma puntual. En consecuencia, una forma eficaz de concentrar los recursos económicos y humanos es la creación por las instituciones de centros que reúnan a este equipo multidisciplinario de trabajo para la atención del deportista y la investigación de nuevas metodologías de aplicación al proceso de entrenamiento.

En ocasiones, sin embargo, la ausencia de algunos profesionales en el equipo multidisciplinario de trabajo es más una consecuencia de la falta de concienciación de la importancia de su labor por parte de los entrenadores y directivos que de un déficit presupuestario. De hecho, algunos de los equipos analizados en el estudio de Reverter *et al.*, (2008) que no tenían contratado a un graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte tenían presupuestos elevados. Además, exceptuando a los equipos de fútbol, la preparación física en la mayoría de los equipos era realizada por una persona contratada a tiempo parcial. En el mismo estudio se observó, por ejemplo, que el 97% de los equipos tenían contratado a un fisioterapeuta, mientras que únicamente un 16% requerían los servicios de un psicólogo del deporte.

De especial relevancia es que las personas encargadas de la contratación de los distintos profesionales adopten unos criterios de selección adecuados. Así, resulta sorprendente del estudio de Reverter *et al.*, (2008) que durante los años transcurridos desde la graduación de los preparadores físicos (11 ± 7 años) sólo un 22% realizaron una formación de posgrado y un 5% consultaron revistas científicas incluidas en la base de datos “Journal Citation Reports”, y que en deportes como fútbol, fútbol sala y baloncesto únicamente un 11% de los responsables de la preparación física disponían de la titulación de técnico superior de su deporte. Como ejemplo, en comparación, el

porcentaje de preparadores físicos que cumplen los criterios mencionados es muy superior en las ligas profesionales de béisbol, baloncesto, fútbol americano y hockey sobre hielo de EEUU y Canadá (Sutherland y Wiley, 1997) y en las ligas universitarias de EEUU (Durrell *et al.*, 2003). Tampoco se observó en el estudio de Reverter *et al.*, (2008) un criterio común de contratación en referencia a la experiencia del preparador físico. Es probable que estos condicionantes puedan explicar en parte las deficiencias encontradas en los equipos españoles en varios de los componentes del programa de entrenamiento con sobrecargas (Reverter *et al.*, 2009).

Los deportistas, los técnicos y los profesionales del equipo multidisciplinario deben disponer de las **instalaciones**, los **materiales** y el **desarrollo tecnológico** suficiente para el desempeño de su trabajo en las mejores condiciones. De poco sirve que un atleta se dedique prioritariamente al entrenamiento si entrena con unos recursos inferiores a los de sus rivales. Del mismo modo, de poco sirve tener profesionales altamente cualificados si no disponen de los recursos suficientes para aplicar sus conocimientos al proceso de entrenamiento de los deportistas. En algunas modalidades deportivas la influencia de la innovación tecnológica y de los procesos de evaluación, fundamentalmente biomecánicos, resulta esencial para maximizar el rendimiento deportivo. De hecho, numerosas medallas obtenidas en distintos JJOO de verano e invierno por el equipo italiano han sido atribuidas en gran parte a la innovación tecnológica fomentada por el Comité Olímpico Italiano. A este respecto, es fundamental que los técnicos y los profesionales del equipo multidisciplinario de trabajo tengan los conocimientos suficientes para una adecuada selección de los recursos materiales y tecnológicos, así como para obtener de éstos el máximo aprovechamiento. Es esencial también incrementar la concienciación de los dirigentes de los clubes, federaciones e instituciones sobre la importancia de estos recursos para el proceso de entrenamiento de los deportistas. En muchos de los equipos analizados por Reverter *et al.*, (2008) y Moliner (2008) el conocimiento de los técnicos y la concienciación de los dirigentes pueden estar más asociados que la falta de presupuesto con las deficiencias indicadas por los responsables de la preparación física en relación con las infraestructuras y el equipamiento de entrenamiento, de valoración y de recuperación.

3.3. Evidencia de la influencia del entorno del

deportista sobre el rendimiento deportivo

Resulta complicado aislar la influencia del **entorno vital y de entrenamiento** del deportista para determinar científicamente su influencia sobre el rendimiento deportivo. Sin embargo, numerosos ejemplos evidencian una posible influencia del entorno vital y de entrenamiento del deportista sobre el **éxito deportivo**. Entre estos ejemplos son especialmente clarificadores los que muestran una mejora espectacular del rendimiento en un período de tiempo relativamente corto en determinados grupos de población y países. Difícilmente la mejora del rendimiento en un determinado grupo de población puede asociarse a otros factores como un cambio de la estructura genética de la población o un cambio de los factores antropométricos. Un breve análisis de la evolución del rendimiento de Australia en los JJOO de verano, de la evolución del rendimiento de España en los JJOO de verano y en los campeonatos del mundo de las distintas modalidades deportivas, y de la evolución del rendimiento de los corredores africanos de mediofondo y fondo puede servir para ilustrar la importancia que para el rendimiento deportivo tiene el entorno vital y de entrenamiento de los deportistas.

En vista de lo expuesto, el título del artículo de Hogan y Norton (2000) “**The price of Olympic gold**” parece algo más que una frase sugerente. Los autores asociaron la evolución del rendimiento de Australia desde los JJOO de Montreal (1976) hasta las de Atlanta (1996) con la inversión económica realizada por el Estado. Basándose en esta asociación y con los datos de la inversión económica realizada hasta el año 2000, los autores realizaron una predicción de la evolución del rendimiento global (*ranking*) (figura 1.13) y por medallas (figura 1.14) que obtendría Australia en los JJOO de Sydney (62 medallas: 14 ± 1 de oro, 15 ± 2 de plata, 33 ± 4 de bronce). El resultado real obtenido por el equipo olímpico australiano en los JJOO de 2000 fue 58 medallas: 16 de oro, 25 de plata y 17 de bronce. Probablemente, el incremento respecto a la previsión de medallas de oro y plata y el menor número de medallas de bronce son consecuencia de otros factores no analizados por los autores como la ventaja de competir en casa.

Otro ejemplo de la posible influencia del entorno vital y de entrenamiento sobre el rendimiento deportivo es la evolución del **rendimiento de España** tanto en los JJOO de verano como en los Campeonatos del Mundo. Como se observa en la figura 1.15, la posición de España en el *ranking* empeoró progresivamente durante el período de dictadura (1936-1975), en parte

asociado también al incremento que en ese período se produjo en el número de países participantes en los JJOO. La mejora del *ranking* es evidente en la etapa posterior a la dictadura. En la democracia, el rendimiento no sólo se ha visto incrementado por el número de medallistas olímpicos, sino también por el número de finalistas (de 20-28 en los JJOO de 1980-1988 a 53-71 en los JJOO de 1992-2008). Especialmente espectacular ha sido el incremento de las mujeres, tres finalistas en los JJOO de 1980-1988 y 32 finalistas en los JJOO de 2004.

Es destacable que España obtuvo en los JJOO de 1992 un total de 22 medallas, una cifra equiparable a las 27 medallas conseguidas en los 21 JJOO anteriores. El éxito en Barcelona no puede asociarse directamente a una planificación deportiva a largo plazo, ya que el primer programa de detección de talentos deportivos en España comenzó en el año 1989. Posiblemente, la gran inversión económica realizada mediante el primer Programa de la Asociación de Deportes Olímpicos (1988-1992) permitió que los mejores deportistas españoles tuviesen un entorno vital y de entrenamiento más adecuado que los condujo a un incremento del rendimiento deportivo. En los JJOO posteriores, España no ha alcanzado el nivel de rendimiento que obtuvo en los JJOO de Barcelona, probablemente asociado a que tampoco se ha igualado la inversión económica. De hecho, es común que el mejor rendimiento de un país se obtenga en los JJOO que organiza y que su rendimiento empeore significativamente en los JJOO posteriores (figura 1.16). Así, 16 de los 18 países estudiados obtuvieron el mejor rendimiento de su historia en sus propios JJOO. Es posible que la mayor inversión económica que habitualmente efectúa el país organizador sobre el entorno vital y de entrenamiento del deportista haya influido notablemente en estos resultados. Sin embargo, hay que considerar también la gran influencia que sobre estos resultados tiene el que el país organizador pueda participar en todas las modalidades deportivas y la influencia de los distintos factores asociados a la ventaja de competir en casa.

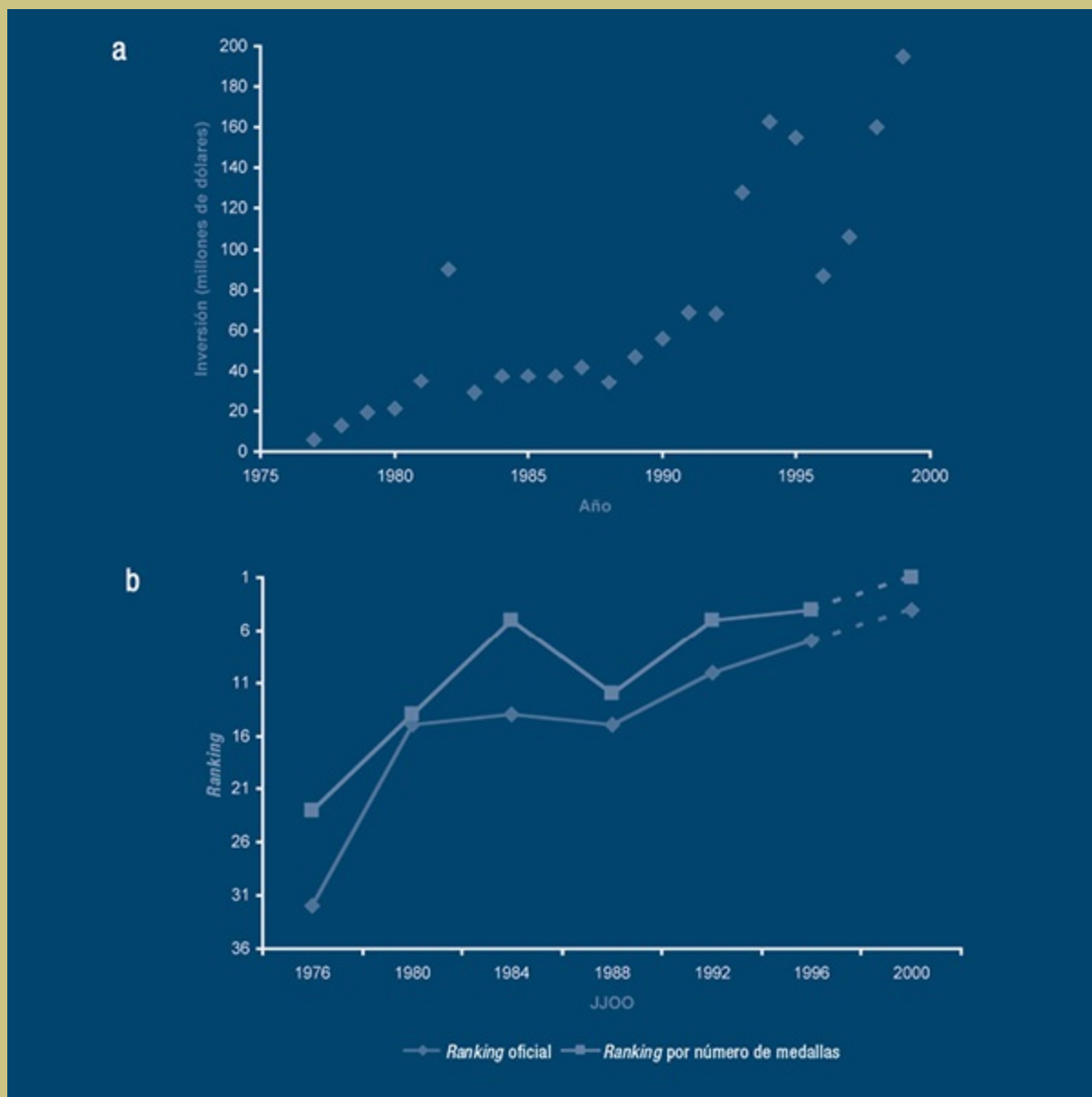


FIGURA. 1.13. Asociación entre la inversión económica del Estado de Australia para el desarrollo del deporte de elite (a) y el *ranking* en los JJOO de 1976 a 1996 y el previsto para los JJOO de 2000 (b). Obsérvese que para deportistas de un mismo país existe una clara relación entre la inversión económica y el rendimiento en los JJOO.

Adaptado de Hogan K y Norton K. J Sci Med Sport 2000;3:203-18.

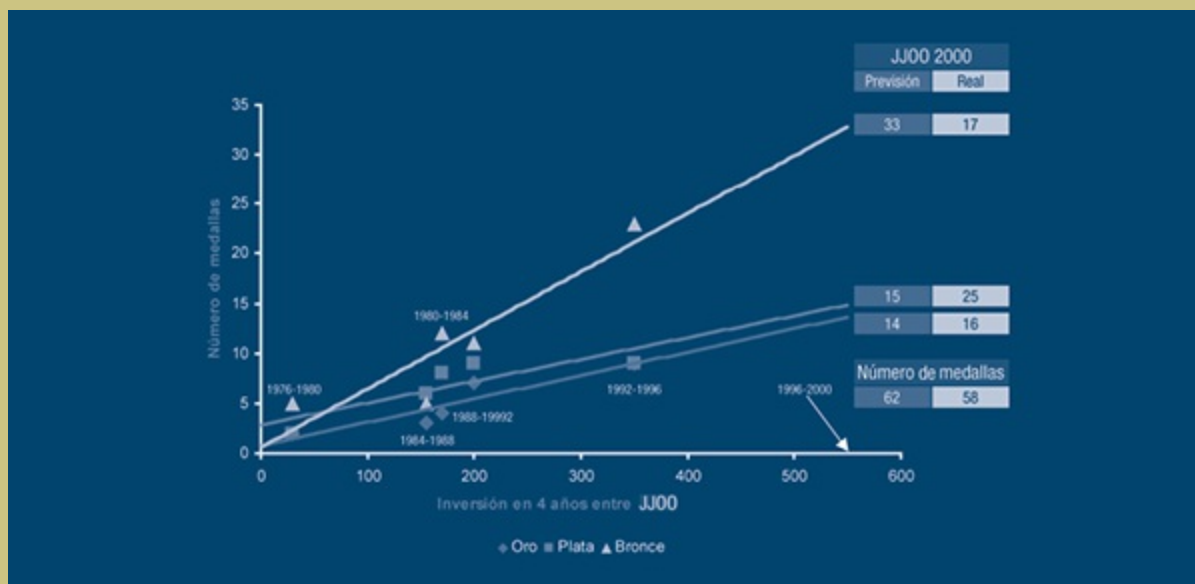


FIGURA. 1.14. Análisis de predicción de medallas de Australia en los JJOO de 2000 de acuerdo con la relación entre la inversión y el rendimiento en JJOO previos. Obsérvese que a partir de la relación entre la inversión económica y el rendimiento en los JJOO la predicción que establecieron los autores para el número de medallas que obtendría Australia en los JJOO de 2000 está muy próxima a las medallas finalmente obtenidas. Probablemente, la desviación entre la predicción y la realidad, asociada a un mayor número de medallas de oro y de plata y a un menor número de medallas de bronce, se deba a que Australia organizó los JJOO de 2000, pudiendo obtener un mayor rendimiento por los factores que influyen en la competición en casa (véase el apartado 4).

Adaptado de Hogan K y Norton K. J Sci Med Sport 2000;3:203-218.

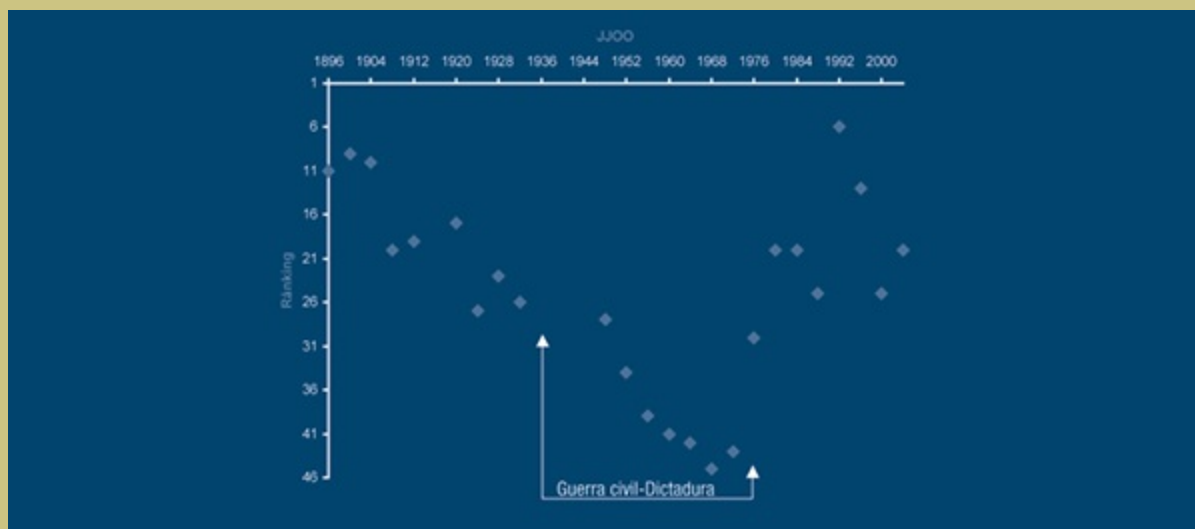


FIGURA 1.15. Evolución de España en el *ranking* de los JJOO de verano. Obsérvese que factores sociológicos y políticos pueden influir en el rendimiento deportivo. En este ejemplo cabe comprobar cómo el rendimiento de España en los JJOO de verano mejora claramente en la democracia. Considera que la posición de España en el *ranking* de los primeros JJOO no es comparable debido a los pocos países participantes. Observa también cómo el rendimiento de los JJOO de Barcelona 1992 no se ha alcanzado en los JJOO posteriores, probablemente como consecuencia de la menor inversión económica y de los factores asociados a la ventaja de competir en casa.

Original de los autores con datos oficiales del Comité Olímpico Internacional.

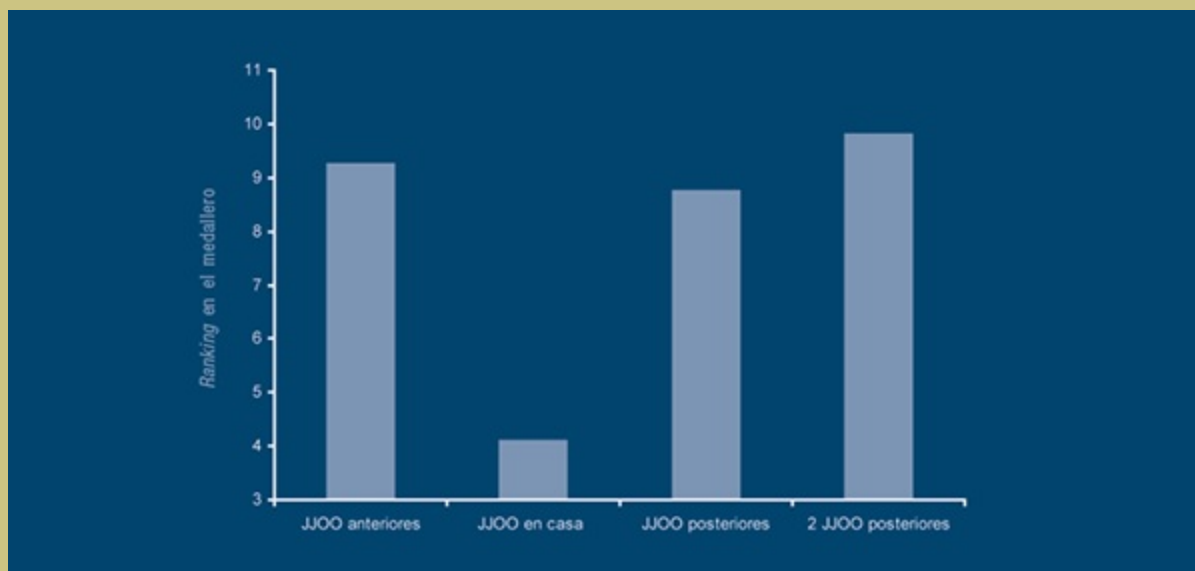


FIGURA 1.16. Influencia de la organización de unos JJOO de verano sobre el rendimiento deportivo. Obsérvese que el promedio del *ranking* de todos los países que han organizado los JJOO de verano es mucho mejor cuando han sido los países organizadores. Este análisis es muy significativo si consideramos que bastantes de los deportistas con éxito en los JJOO organizados por su país han participado también en los JJOO anteriores y posteriores. Estos resultados pueden ser consecuencia de la ventaja de competir en casa y de la mayor inversión económica realizada por los países organizadores. Sorprende que la mejora del rendimiento de un país organizador de los JJOO se pierda en los siguientes JJOO, aun considerando la más que probable herencia de un mejor entorno vital y de entrenamiento.

Original de los autores con datos oficiales del Comité Olímpico Internacional.

Una evolución, quizá de mayor magnitud, se observa también en el rendimiento de España en los Campeonatos del Mundo de las distintas modalidades deportivas. El Consejo Superior de Deportes elabora para los años en los que no se celebran JJOO una clasificación de los países en

función de la suma de finalistas en los campeonatos del mundo de las distintas modalidades deportivas. En el período 1989-1991, España, con un total de 325 puntos, quedó situada como la potencia número 19 del mundo. Aunque no se dispone de datos, probablemente el rendimiento en las décadas anteriores fue significativamente inferior. El total de puntos obtenidos por los deportistas españoles en el período 2001-2003 se incrementó a 824, situándose España en la novena posición. En el período 2005-2007, el rendimiento de España ha disminuido sensiblemente, pero su posición en el *ranking* es claramente mejor que en el primer período analizado. Esta evolución del rendimiento es equiparable en hombres y mujeres (figura 1.17).

Posiblemente el incremento del rendimiento de los **deportistas españoles** en los últimos años puede estar asociado a diversos factores socioeconómicos que, directa o indirectamente, han mejorado el **entorno vital y de entrenamiento** de los deportistas. Entre estos factores probablemente algunos están asociados a condiciones básicas como la mejora del estado nutricional o la mayor libertad de la mujer para la práctica deportiva. La mejora de otros factores asociados al entorno vital y de entrenamiento del deportista también es evidente. Respecto a la formación de profesionales, se han establecido criterios cada vez más exigentes para la obtención del título de técnico deportivo y se ha incrementado espectacularmente el número de personas con formación universitaria de grado y posgrado relacionada con el deporte, así como el número de investigadores. Paralelamente a la cualificación profesional se han incrementado los recursos tecnológicos, las infraestructuras y los equipamientos, por ejemplo, el número de Centros de Valoración Deportiva, Centros de Alto Rendimiento Deportivo y Centros de Tecnificación. Aun considerando que el desarrollo de la elite deportiva de un país debe basarse en una inversión exclusiva en aquellos deportistas con posibilidades reales de obtener un rendimiento de nivel internacional, no es menos cierto que un incremento importante del número de practicantes de una modalidad deportiva incrementa el número de deportistas con posibilidades de éxito. Al respecto, la evolución socioeconómica de España aunada con una mayor concienciación y promoción de la práctica deportiva ha supuesto un incremento espectacular en las últimas décadas del número de licencias federativas de la mayoría de las modalidades deportivas.

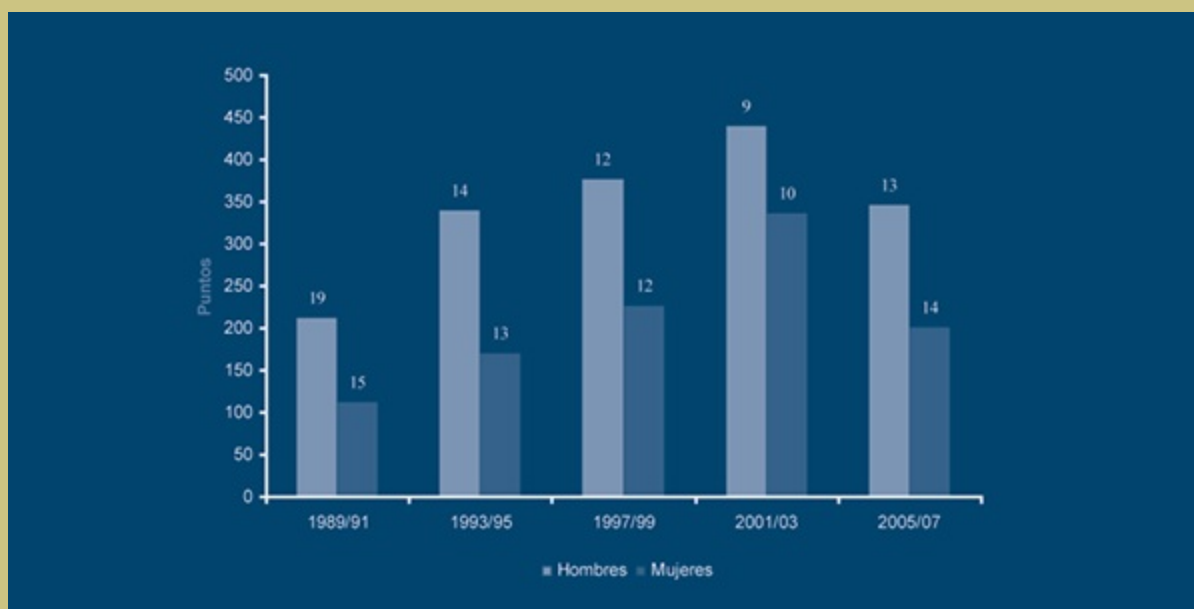


FIGURA 1.17. Evolución del rendimiento de España en los últimos campeonatos del mundo de las distintas modalidades deportivas. Los números indican la posición relativa de España a nivel mundial. Nótese que, pese al descenso del rendimiento en el último período analizado, España ha incrementado en los últimos 20 años significativamente su rendimiento en los Campeonatos del Mundo de las distintas modalidades deportivas. Es muy probable que estos resultados sean consecuencia de la mejora de numerosos factores asociados al entorno vital y del entrenamiento. Probablemente es necesaria una mejora de los factores asociados a este entorno que todavía pueden considerarse deficitarios en España, especialmente en los deportes no comerciales, para que no se produzca un estancamiento del rendimiento deportivo.

Original de los autores con datos cortesía del Consejo Superior de Deportes.

Un claro ejemplo de la posible influencia del entorno vital y del entrenamiento sobre el rendimiento deportivo se puede ver en la evolución del rendimiento en carreras de mediofondo y fondo de los **corredores africanos**. En las últimas dos décadas, la proporción de africanos en el *ranking* de los 20 mejores corredores masculinos de todos los tiempos en pruebas de media y larga distancia se ha incrementado del 26,6% (Matthews, 1987) al 84,3% (IAAF, enero 2008). La evolución del rendimiento en estas pruebas por procedencia geográfica de los mejores 50 atletas se muestra en la figura 1.18 (La Torre *et al.*, 2005).

Interesantes estudios sobre las características demográficas de los corredores de elite africanos resaltan la importancia de los factores ambientales y sociales en el rendimiento deportivo. Así, Onywera *et al.*,

(2006) mostraron que, de los corredores de Kenia de nivel internacional, un 81% provienen de la provincia de Rift Valley (con altitudes a menudo superiores a 2.000 m), un 76% pertenecen a la etnia Kalenjin y concretamente un 44% a la tribu Nandi (asociado según los autores a factores culturales debido al éxito principalmente de Kipchoge Keino, que ha estimulado la tradición de correr largas distancias y el reclutamiento de talentos en las escuelas), y un 81% recorrían largas distancias para ir a la escuela. Este estudio destaca, por tanto, la altitud, el éxito de otros deportistas y la forma de desplazamiento como aspectos determinantes del éxito de los corredores de Kenia. Sin embargo, la mayoría de estos aspectos, e incluso otros asociados a condicionantes genéticos y antropométricos que podrían explicar el rendimiento de los corredores africanos, son factores relativamente estables que difícilmente pueden explicar la extraordinaria evolución de su rendimiento en los últimos 20 años. Probablemente la variación del rendimiento de los corredores africanos se puede deber parcialmente a factores sociológicos asociados a su **entorno vital y de entrenamiento**. Actualmente, el éxito en la carrera es una de las mejores opciones de vida en algunos países africanos. Así, los motivos económicos fueron la principal motivación para practicar atletismo de los actualmente mejores corredores de Kenia (Onywera *et al.*, 2006). De hecho, los mejores corredores seniors de África viven, entrenan y compiten en Europa, donde disponen de un óptimo entorno vital y de entrenamiento. Resulta curioso que la proporción de mujeres africanas en el *ranking* de las 20 mejores corredoras en las distintas pruebas de media y larga distancia sea únicamente el 28,6%, un porcentaje muy inferior a los hombres, el 84,3% (IAAF, enero 2008). Un efecto similar se observa en corredores juniors (edad ≤ 19 años), en los cuales la proporción actual es el 94,2% para los hombres y el 35% para las mujeres. Una posible hipótesis que puede explicar las diferencias de rendimiento entre corredores y corredoras de África es el menor desarrollo económico del atletismo femenino, lo que probablemente determina que una menor proporción de mujeres africanas pueda vivir del atletismo y entrenar en países desarrollados. Esta hipótesis se ve sustentada por la observación de que en edades más jóvenes (≤ 17 años) la proporción de africanos entre los 20 mejores en pruebas de media y larga distancia en 2007 fue similar en hombres (30%) y en mujeres (27,5%). Ciertamente, mientras que el rendimiento de las corredoras africanas es equivalente para todas las edades, el rendimiento de los corredores se incrementa espectacularmente en edades superiores a los 19

años. Los jóvenes africanos viven, entrenan y compiten en sus propios países, y muchos países africanos son pobres y con escaso desarrollo tecnológico. Globalmente, estos datos son reveladores de que el condicionante económico y su influencia sobre numerosos factores es determinante del rendimiento de los deportistas.

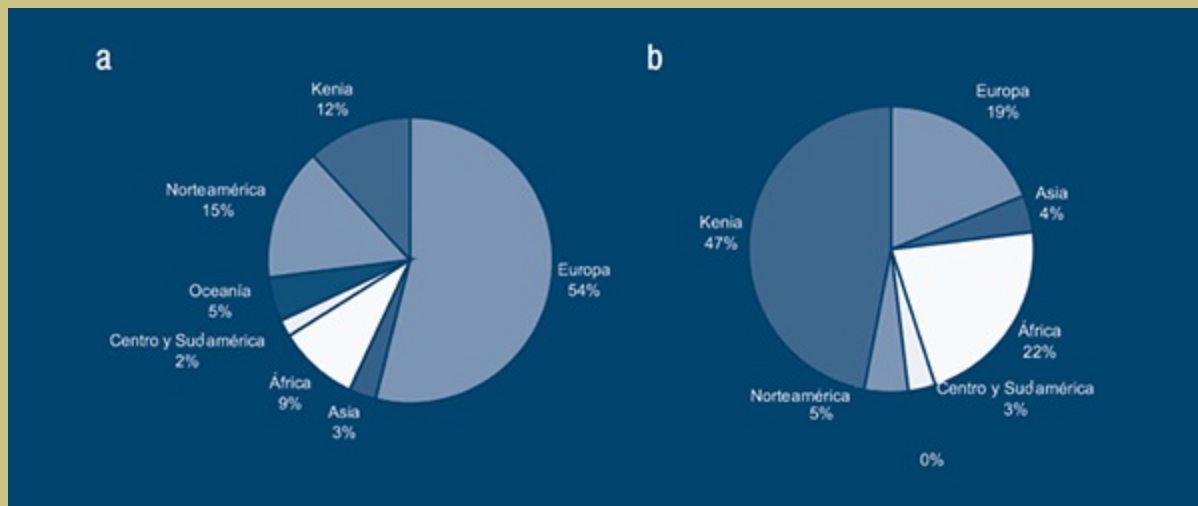


FIGURA 1.18. Distribución por procedencia geográfica de los 50 mejores corredores de mediofondo y fondo en 1986 (a) y 2005 (b). Obsérvese el acusado descenso en los últimos 20 años de atletas europeos entre los mejores corredores en pruebas de media y larga duración como consecuencia de la emergencia de corredores de África, especialmente de Kenia. Véase el texto para comprender que la mejora de rendimiento de los corredores africanos se debe probablemente a factores asociados al entorno vital y del entrenamiento.

Adaptado de La Torre A et al. SDS/Rivista di Cultura Sportiva 2005;67:13-20.

Síntesis

- ▶ Numerosos ejemplos demuestran que el entorno vital y del entrenamiento son determinantes en que deportistas con un adecuado potencial genético para una determinada modalidad deportiva alcancen o no altas cotas de rendimiento.
- ▶ Las instituciones deben fomentar que el entorno vital del deportista (considerando las condiciones básicas de vida, la estabilidad emocional, el reconocimiento social y las perspectivas de futuro) y el entorno del

entrenamiento (considerando su dedicación prioritaria, el apoyo técnico y tecnológico, y las infraestructuras y equipamientos) sean acordes a las exigencias que requiere el entrenamiento de alto nivel. Especialmente, estos factores se han de tener en cuenta también en los deportistas con pocas posibilidades de obtener recursos económicos y en los deportistas promesa.

- Numerosos factores asociados con el entorno vital y de entrenamiento se consideran esenciales para el éxito deportivo de un país. Por ello, los países que deseen incrementar el éxito de sus deportistas han de incrementar y gestionar adecuadamente la inversión económica para el desarrollo del deporte de alto nivel, considerando especialmente los deportes minoritarios y los deportistas promesa.

Cuestionario de asimilación

1. Enumera los factores a considerar para un adecuado entorno vital del deportista.
2. Reflexiona por qué el reconocimiento social del rendimiento de los deportistas puede influir en la optimización del rendimiento.
3. Indica qué aspectos asociados al entorno vital del deportista deberían ser especialmente considerados en deportistas jóvenes y promesa.
4. Reflexiona sobre si las instituciones de un país u otras instituciones deberían garantizar el futuro profesional de los deportistas de alto nivel.
5. Indica las razones más importantes por las que deben estar profesionalizados los entrenadores y técnicos dedicados a la alta competición.
6. Reflexiona sobre los factores que pueden determinar que un deportista tenga que vivir en su lugar de residencia habitual o en un Centro de Alto Rendimiento Deportivo.
7. Establece la relación entre el entorno vital y del entrenamiento, la genética del deportista y el rendimiento deportivo.
8. Indica por qué un país puede tener más éxito deportivo en los JJOO si orienta sus esfuerzos prioritariamente a deportistas con pocas

posibilidades de obtener recursos económicos.

- 9.** Indica qué otros factores, además de la ventaja de competir en casa, pueden justificar el mayor rendimiento de los países organizadores de los JJOO.
- 10.** Si tuvieras que gestionar una partida económica para el desarrollo a largo plazo del deporte de alto nivel, ¿lo destinarías a deportistas promesa y/o de elite o a incrementar el número de horas de actividad física escolar y extraescolar?
- 11.** Establece qué factores pueden explicar la mejora del rendimiento de España en las últimas décadas.
- 12.** Reflexiona e indica qué factores mejorarías para incrementar el rendimiento deportivo de España en el futuro.
- 13.** Considera por qué el rendimiento de los africanos en ciclismo de ruta es extremadamente inferior al rendimiento en carreras de mediofondo y fondo.

Competir en casa y rendimiento deportivo

Alejandro Legaz-Arrese, Diego Moliner Urdiales, Joaquín Reverter Masía

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer la influencia de competir en casa sobre el rendimiento de las distintas modalidades deportivas.
- Comprender los factores que han sido asociados a la ventaja de competir en casa.
- Comprender y reflexionar sobre los cambios conductuales y cognitivos de los entrenadores, deportistas y jueces cuando se compite fuera de casa.
- Establecer algunas estrategias que pueden influir sobre la ventaja de competir en casa.

Índice:

4.1. Evidencia de la ventaja de competir en casa

4.2. Factores que determinan la ventaja de competir en casa

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El análisis de la influencia de competir en casa es tradicionalmente olvidado en los textos y en la práctica diaria del entrenamiento. En la literatura científica numerosos estudios resaltan la importancia que tiene sobre el rendimiento el competir en casa o fuera. En este apartado se enumeran los estudios más importantes que han abordado este asunto en las diferentes modalidades deportivas. Conocer las causas que determinan que competir en casa se asocie a un mayor rendimiento es determinante para establecer estrategias que nos permitan reducir o ampliar su influencia.

4.1. Evidencia de la ventaja de competir en casa

La **ventaja de competir en casa** tiene una sólida **evidencia científica**. La mayoría de los estudios que han demostrado la ventaja de competir en casa han analizado ligas profesionales de distintos **deportes de equipo**: fútbol (Pollard, 2006; Wolfson *et al.*, 2005; Thomas *et al.*, 2004; Watson y Krantz, 2003), fútbol americano (Pollard y Pollard, 2005a), fútbol australiano (Clarke, 2005), béisbol (Bray *et al.*, 2005; Pollard y Pollard, 2005a; Watson y Krantz, 2003), rugby (Morton, 2006), hockey sobre hierba (Carre *et al.*, 2006; Pace y Carron, 1992), hockey sobre hielo (Pollard y Pollard, 2005a; Dennis y Carron, 1999) y baloncesto (Watson y Krantz, 2003; Steenland y Deddens, 1997). Recientemente se ha demostrado que en las eliminatorias de las competiciones europeas de fútbol, aunque ambos equipos tienen la ventaja de competir en casa, los equipos que juegan el segundo partido en casa tienen más de un 50% de probabilidades de ganar la eliminatoria (Page y Page, 2007). También se ha observado la ventaja de competir en casa en algunos **deportes individuales**, de raqueta y de combate, como patinaje de velocidad (Koning, 2005), golf (Nevill *et al.*, 1997), tenis (Nevill *et al.*, 1997) y boxeo (Balmer *et al.*, 2005). De especial relevancia son los estudios que han encontrado una gran diferencia entre el rendimiento al competir en casa y fuera en todos los países organizadores de los **Juegos Olímpicos** de invierno (Balmer *et al.*, 2001) y de verano (Balmer *et al.*, 2003; Clarke *et al.*, 2000) (tabla 1.4).

TABLA 1.4. Ratio del porcentaje de medallas obtenidas en casa y fuera por los países organizadores de los JJOO de verano

	<i>Fuera (% de medallas)</i>	<i>Casa (% de medallas)</i>	<i>Ratio casa/fuera</i>
Alemania	6,6	14,8	2,2
Australia	2,3	7,4	3,2
Bélgica	1,3	8,1	6,0
Canadá	2,1	1,8	0,9
Corea	1,2	4,5	3,6
España	0,5	2,7	5,1
Estados Unidos	17,0	37,9	2,2
Finlandia	3,3	4,8	1,4
Francia	5,0	23,7	4,8
Gran Bretaña	5,3	25,3	4,8
Grecia	0,4	26,8	62,3
Holanda	1,7	5,8	3,4
Italia	4,3	7,8	1,8
Japón	3,1	5,8	1,9
Méjico	0,4	1,7	3,9
Suecia	4,5	21,0	4,7
Unión Soviética	16,9	30,9	1,8

Adaptado de Clarke SR. Home advantage in the Olympic Games. En: Cohen G y Langtry T. Proceedings of the fifth Australian conference on mathematics and computers in sport. University of Technology Sydney 2000.

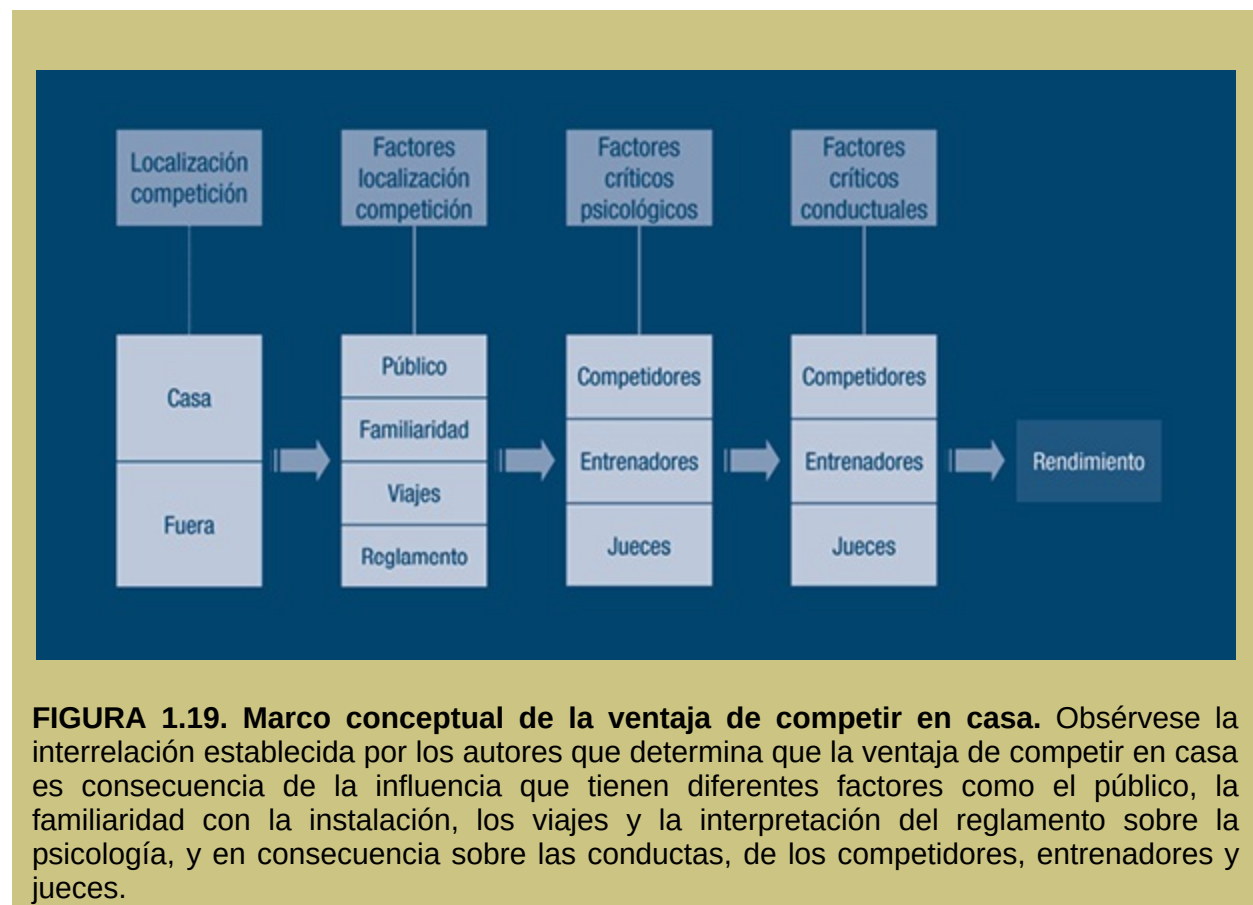
4.2. Factores que determinan la ventaja de competir en casa

El **marco conceptual** asociado a la ventaja de competir en casa fue propuesto por Courneya y Carron (1992) (figura 1.19). Los autores establecieron que la ventaja de competir en casa está determinada por cuatro factores principales: (i) el **público**, un reconocimiento de que los competidores en casa tienen más apoyo de los espectadores; (ii) el **aprendizaje/familiaridad**, un reconocimiento de que los competidores en casa están más familiarizados con el lugar de competición y tienen la posibilidad de modificarlo temporalmente según sus fuerzas percibidas; (iii) los **viajes**, un reconocimiento de las molestias que ocasionan los viajes a los competidores visitantes, y (iv) la **reglamentación**, un reconocimiento de que en algunos deportes las reglas

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

favorecen al equipo de casa. Estos cuatro factores influyen en el **estado psicológico** y **conductual** de los **competidores, entrenadores y jueces**, y en consecuencia en el rendimiento en la competición.

Como se observa en la figura 1.20, en los deportes de equipo, que presentan mayor afluencia de público, y en deportes en los que el resultado se juzga con subjetividad como la gimnasia y el boxeo, se evidencia un mayor rendimiento cuando se compete en casa; mientras que en deportes con un rendimiento objetivo, como la halterofilia y el atletismo, no existe ventaja de competir en casa (Balmer *et al.*, 2003). Un análisis similar fue realizado sobre el rendimiento en los JJOO de invierno por el mismo grupo de investigación (Balmer *et al.*, 2001) (figura 1.21). Los autores demostraron que la ventaja de competir en casa es muy superior en los deportes en los que el rendimiento se juzga subjetivamente y en los deportes en los que existe variación local de la instalación de competición respecto a los deportes en los que el rendimiento se juzga objetivamente. Controlando el efecto de otros factores, Boyko *et al.*, (2007) demostraron que algunos árbitros son responsables parcialmente de la ventaja de competir en casa en la “Premier League” de fútbol.



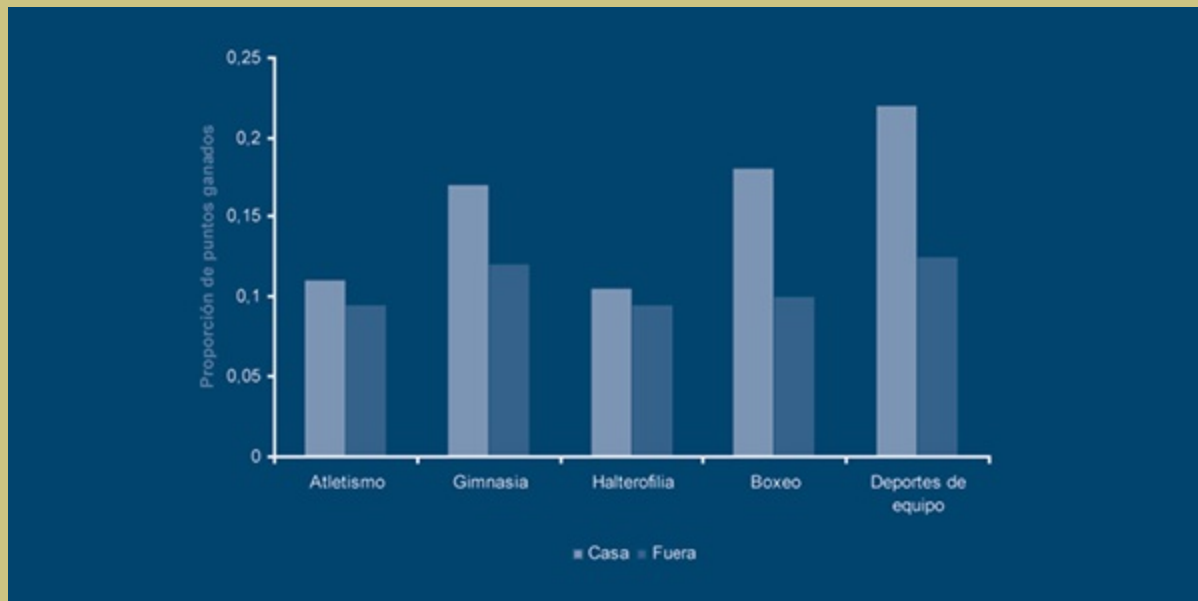


FIGURA 1.20. Diferencias entre deportes en el rendimiento de los países organizadores de los JJOO de verano cuando compiten en casa o fuera. El rendimiento está expresado en proporción de puntos ganados respecto del total de puntos disputados. Cada medalla de oro equivale a 3 puntos, cada medalla de plata equivale a 2 puntos y cada medalla de bronce equivale a 1 punto. Obsérvese que el rendimiento en los JJOO es similar cuando se compite en casa o fuera de casa en deportes que, como el atletismo y la halterofilia, se juzgan objetivamente. En los deportes juzgados subjetivamente como la gimnasia y boxeo, y con mayor afluencia de público, como los deportes de equipo, el rendimiento en los JJOO es significativamente superior cuando se compite en casa.

Adaptado de Balmer NJ, et al J Sports Sci 2003;21:469-78.

Aunque los resultados son controvertidos, algunos estudios han demostrado que varios factores asociados al público como la densidad (Agnew y Carron, 1994), el tamaño (Nevill *et al.*, 1996) y la ausencia (Nevill *et al.*, 2002) influyen en el rendimiento en competición en los deportes de equipo. También se ha observado la influencia del número de espectadores sobre las decisiones de los árbitros. Así, la probabilidad de una tarjeta amarilla en fútbol disminuye conforme aumenta el número de espectadores (Downward y Jones, 2007). La influencia de la familiaridad de la instalación local de competición sobre la ventaja de competir en casa ha sido también demostrada en los deportes de equipo. Pollard (2002) demostró que la

familiaridad con la instalación era responsable de la disminución de un 24% de la ventaja de competir en casa para equipos de béisbol, baloncesto y hockey sobre hielo que cambiaron de estadio de competición. En esta línea, Barnett y Hilditch (1993) demostraron un incremento de la ventaja de competir en casa para los equipos de fútbol que compiten en hierba artificial respecto a los equipos que utilizan un campo de hierba natural. Según el análisis de revisión realizado por Carron *et al.*, (2005), los factores asociados a los viajes del equipo visitante contribuyen a la ventaja de competir en casa; sin embargo, su impacto es relativamente pequeño. Los estudios asociados con la reglamentación de un deporte se han centrado en la influencia de competir en casa sobre las decisiones de los árbitros o jueces. No existe evidencia científica de la influencia que tienen en algunos deportes determinadas reglas que teóricamente podrían beneficiar al equipo que compite en casa.

Otros estudios han demostrado que la ventaja de competir en casa está influida por otros factores, además de los propuestos por Courneya y Carron (1992). Pollard (2006) demostró que la ventaja de competir en casa, en los 6 años previos al estudio, en las ligas profesionales de fútbol de los 51 países europeos estuvo determinada en un 76,7%, además de por factores asociados al público y los viajes, por factores geográficos o de territorialidad (figura 1.22). El factor **territorialidad** se define como la respuesta protectora a la invasión de un territorio. En este sentido, en los países de terreno montañoso, con continuos conflictos étnicos y religiosos, como los países balcánicos, existe una conciencia aumentada de proteger el territorio que determina una mayor ventaja al competir en casa. Además, en estos países el factor territorialidad podría interactuar recíprocamente con un mayor apoyo del público y mayor influencia sobre los árbitros, conduciendo a un incremento de la ventaja de competir en casa. Al igual que al resto de factores analizados, se presupone a la territorialidad una elevada influencia sobre la disposición táctica y psicológica en competición (Pollard y Pollard, 2005b), y puede explicar la mayor concentración de testosterona observada en los competidores en casa, especialmente cuando aumenta la rivalidad entre los competidores (Neave y Wolfson, 2003). Recientemente se ha observado una relación directa entre los niveles hormonales y el estado psicológico previo a la competición de los jugadores y la ventaja de competir en casa en el hockey sobre hierba (Carre *et al.*, 2006).

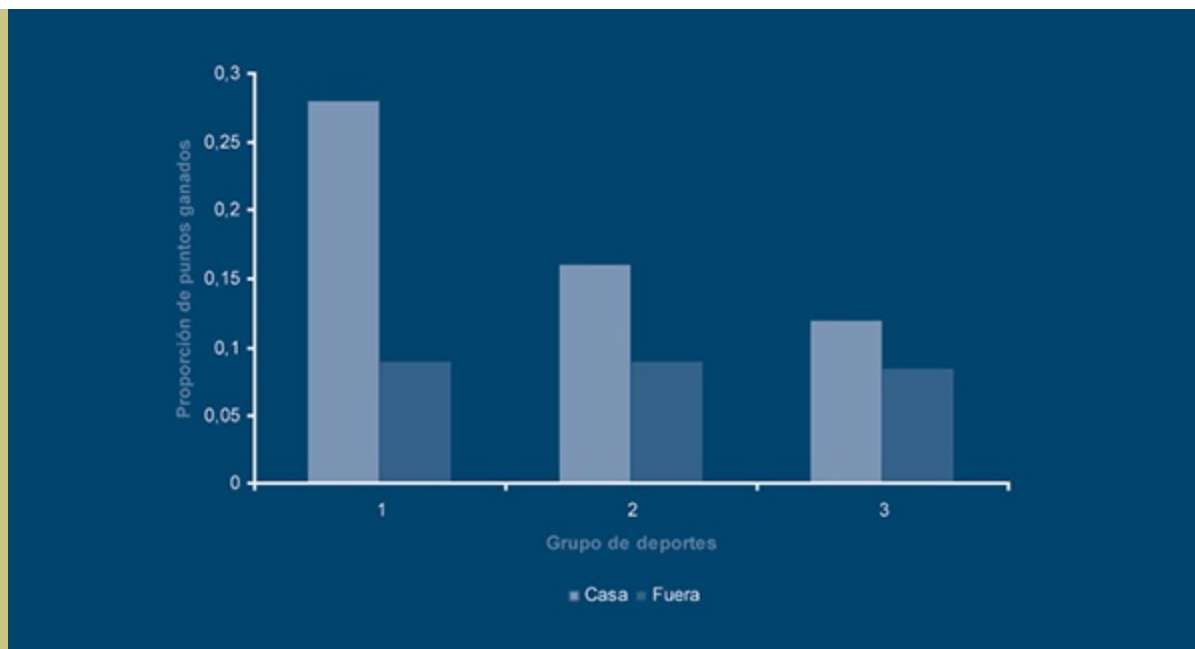


FIGURA 1.21. Diferencias en el rendimiento de los países organizadores de los JJOO de invierno cuando compiten en casa o fuera entre deportes juzgados subjetivamente (grupo 1), deportes con variación local de la instalación de competición (grupo 2) y deportes juzgados objetivamente (grupo 3). El rendimiento está expresado en proporción de puntos ganados respecto del total de puntos disputados. Cada medalla de oro equivale a 3 puntos, cada medalla de plata equivale a 2 puntos y cada medalla de bronce equivale a 1 punto. Obsérvese que el rendimiento en los JJOO de invierno es significativamente superior cuando se compete en casa en los deportes en los que existe variación local de la competición y especialmente en los deportes juzgados subjetivamente. Obsérvese que el rendimiento en los deportes juzgados objetivamente es similar cuando se compete en casa o fuera.

Adaptado de Balmer NJ, et al. J Sports Sci 2001;19:129-39.

El efecto de territorialidad también fue observado por Pollard (2006) en las ligas de fútbol de América. Así, la ventaja de competir en casa es significativamente superior en países montañosos, históricamente ocupados y con elevada represión como Ecuador, Perú, Bolivia y Colombia. De acuerdo con el autor, en estos países la ventaja de competir en casa puede verse incrementada también debido a que unos equipos compiten en una altitud muy elevada y otros compiten a nivel del mar. La influencia de los factores ambientales sobre la ventaja de competir en casa también ha sido analizada en la prueba de maratón en los JJOO (Peiser y Reilly, 2004). La liga de fútbol con menor ventaja de competir en casa corresponde a Uruguay. Según el autor, debido a que la mayoría de los equipos juegan en la misma ciudad, la influencia de los viajes, el público y la familiaridad es menor. En América,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

después de los cuatro países andinos, la liga de fútbol de Brasil es la que muestra mayor ventaja al competir en casa. Entre otros factores, el autor señala que en países con una gran extensión de terreno como Brasil la distancia de los desplazamientos podría incrementar en mayor medida la ventaja de competir en casa. La extensión del terreno podría también explicar la incrementada ventaja de competir en casa en la liga de China. No obstante, el impacto de los viajes sobre esta ventaja nunca ha sido convincentemente establecida y puede verse reducida a medida que los equipos profesionales realizan rápidos y cómodos viajes en avión.



FIGURA 1.22. Mapa de Europa que muestra la ventaja de competir en casa en las ligas nacionales de fútbol de cada país. Obsérvese que en todos los países europeos existe un mayor rendimiento en fútbol cuando se compite en casa. La mayor ventaja se observa en los países balcánicos, caracterizados por terreno montañoso y continuos conflictos, y la menor en los países del norte, con pocos conflictos. Este análisis sugiere que la territorialidad es un factor que influye en la ventaja de competir en casa.

Adaptado de Pollard R. J Sports Sci 2006;24:231-40.

A la inversa que los países balcánicos y andinos, los países de Europa del

norte, donde la ventaja de competir en casa es menor, son lugares con relativamente pocos conflictos y podría haber menos razón de sentirse personalmente amenazado por la llegada de un equipo contrario.

Dado que la ventaja de competir en casa tiene evidencia científica y sus factores son conocidos, de acuerdo con Wolfson y Neave (2004), los entrenadores y psicólogos del deporte deben preparar **estrategias** para reducir al mínimo los efectos adversos de competir fuera de casa. Estas estrategias se han de enfocar sobre todo a la preparación mental, acentuando la importancia de la concentración y la disciplina. El objetivo es evitar ser influido negativamente por un público hostil y un terreno de competición desconocido, y evitar enfrentamientos con los árbitros que podrían estar influidos por el público del equipo de casa. El establecimiento de rituales cuando se compite fuera de casa y la realización de viajes más cómodos son enfoques que también deben ser considerados. Actualmente, el conocimiento de la influencia de competir en casa o fuera sobre el estado psicológico y conductual de los jugadores y entrenadores es escaso (Carron *et al.*, 2005). Futuros estudios en esta línea de investigación deben conducir a la definición de nuevas estrategias que reduzcan la ventaja de competir en casa.

Síntesis

- ▶ La ventaja de competir en casa tiene sólida evidencia científica, siendo de especial relevancia en los deportes juzgados subjetivamente y en los deportes en los que varía la instalación de la competición.
- ▶ La ventaja de competir en casa se ha asociado a la influencia que sobre los competidores, entrenadores y jueces tiene el público, la familiaridad con la instalación y su contexto, los viajes, el reglamento y factores geográficos o territoriales.
- ▶ Los entrenadores y psicólogos deportivos deben adoptar estrategias para influir en los factores que determinan la ventaja de competir en casa.

Cuestionario de asimilación

1. Indica las modalidades deportivas en las que se ha observado una

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

mayor ventaja de competir en casa.

2. Indica a qué personas se debe aplicar estrategias para influir sobre la ventaja de competir en casa.
3. Indica qué factores se han estudiados para explicar la ventaja de competir en casa.
4. Reflexiona sobre por qué factores geográficos o de territorialidad determinan la ventaja de competir en casa.
5. Indica qué se entiende por el factor familiaridad como determinante de la ventaja de competir en casa y enumera modalidades deportivas en las que este factor puede tener mayor importancia.
6. Indica qué relación puede establecerse entre los niveles de testosterona precompetición y la ventaja de competir en casa.
7. Enumera algunas estrategias que cabe utilizar cuando se compite fuera de casa.

Bibliografía

Abernethy B, Hanrahan S, Kippers V *et al.* *The biophysical foundations of human movement*. Human Kinetics, 2005.

Agnew GA, Carron AV. Crowd effects and the home advantage. *Int J Sport Psychol* 1994;25:53-62.

An P, Perusse L, Rankinen T, et al. Familial aggregation of exercise heart rate and blood pressure in response to 20 weeks of endurance training: the HERITAGE family study. *Int J Sports Med* 2003;24:57-62.

An P, Rice T, Gagnon J *et al.* Familial aggregation of stroke volume and cardiac output during submaximal exercise: the HERITAGE Family Study. *Int J Sports Med* 2000;21:566-72.

Andersen JL, Schjerling P, Saltin B. Muscle, genes and athletic performance. *Sci Am* 2000;283:48-55. Azzazy HM, Mansour MM, Christenson RH. Doping in the recombinant era: strategies and counterstrategies. *Clin Biochem*

2005;38:959-65.

Balmer NJ, Nevill AM, Lane AM. Do judges enhance home advantage in European championship boxing? *J Sports Sci* 2005;23:409-16.

Balmer NJ, Nevill AM, Williams AM. Modelling home advantage in the Summer Olympic Games. *J Sports Sci* 2003;21:469-78.

Balmer NJ, Nevill AM, Williams AM. Home advantage in the Winter Olympics (1908-1998). *J Sports Sci* 2001;19:129-39.

Barnett V, Hilditch S. The effect of an artificial pitch surface on home team performance in football (soccer). *J Royal Statistical Soc* 1993;156:39-50.

Bouchard C, An P, Rice T *et al.* Familial aggregation of VO₂max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol* 1999;87:1003-8.

Bouchard C, Daw EW, Rice T *et al.* Familial resemblance for VO₂ max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:252-8.

Bouchard C, Malina RM *et al.* *Genetics of fitness and physical performance*. Human Kinetics, 1997. Bouchard C, Leon AS, Rao DC *et al.* The HERITAGE family study. Aims, design, and measurement protocol. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:721-9.

Boyko RH, Boyko AR, Boyko MG. Referee bias contributes to home advantage in English Premiership football. *J Sports Sci* 2007;25:1185-94.

Bray MS, Hagberg JM, Pérusse L *et al.* The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:35-73.

- Bray SR, Obara J, Kwan M. Batting last as a home advantage factor in men's NCAA tournament baseball. *J Sports Sci* 2005;23:681-6.
- Brutsaert TD, Parra EJ. What makes a champion? Explaining variation in human athletic performance. *Respir Physiol Neurobiol* 2006;151:109-23.
- Carré J, Muir C, Belanger J *et al.* Pre-competition hormonal and psychological levels of elite hockey players: relationship to the "home advantage". *Physiol Behav* 2006;89:392-8.
- Carron AV, Loughhead TM, Bray SR. The home advantage in sport competitions: Courneya and Carron's (1992) conceptual framework a decade later. *J Sports Sci* 2005;23:395-407.
- Clarke SR. Home advantage in the Australian Football League. *J Sports Sci* 2005;23:375-85.
- Clarke SR. Home advantage in the Olympic Games. En: Cohen G, Langtry T. *Proceedings of the fifth Australian conference on mathematics and computers in sport*. University of Technology Sydney 2000.
- Collins FS, Morgan M, Patrinos A. The Human Genome Project: lessons from large-scale biology. *Science* 2003;300:286-90.
- Courneya KS, Carron AV. The home advantage in sport competitions: A literature review. *J Sport Exerc Psychol* 1992;14:13-27.
- Cuzin M. DNA chips: a new tool for genetic analysis and diagnostics. *Transfus Clin Biol* 2001;8:291-6. Davids K, Baker J. Genes, environment and sport performance: why the nature-nurture dualism is no longer relevant. *Sports Med* 2007;37:961-80.
- Dennis PW, Carron AV. Strategic decisions of ice hockey

coaches as a function of game location. *J Sports Sci* 1999;17:263-8.

Downward P, Jones M. Effects of crowd size on referee decisions: analysis of the FA Cup. *J Sports Sci* 2007;25:1541-5.

Druzhevskaya AM, Ahmetov II, Astratenkova IV, et al. Association of the ACTN3 R577X polymorphism with power athlete status in Russians. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:631-4.

Dunn PM. Gregor Mendel, OSA (1822-1884), founder of scientific genetics. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2003;88:F537-9.

Durell DL, Pujol TJ, Barnes JT. A survey of the scientific data and training methods utilized by collegiate strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res* 2003;17:368-73.

Frederiksen H, Christensen K. The influence of genetic factors on physical functioning and exercise in second half of life. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:9-18.

Friedmann T, Koss JO. Gene transfer and athletics- an impending problem. *Mol Ther* 2001;3:819-20.

Gaffney GR, Parisotto R. Gene doping: a review of performance-enhancing genetics. *Pediatr Clin North Am* 2007;54:807-22, xii-xiii.

Gaskill SE, Rice T, Bouchard C et al. Familial resemblance in ventilatory threshold: the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1832-40.

Gayagay G, Yu B, Hambly B et al. Elite endurance athletes and the ACE I allele—the role of genes in athletic performance. *Hum Genet* 1998;103:48-50.

Gonzalez-Freire M, Santiago C, Verde Z et al. Unique among unique. Is it genetically determined? *Br J Sports Med*

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

2009;43:307-9.

Haisma HJ, de Hon O. Gene doping. *Int J Sports Med* 2006;27:257-66.

Hogan K, Norton K. The “price” of Olympic gold. *J Sci Med Sport* 2000;3:203-18.

Jones A, Montgomery HE, Woods DR. Human performance: a role for the ACE genotype? *Exerc Sport Sci Rev* 2002;30:184-90.

Jowett S, Ntoumanis N. The Coach-Athlete Relationship Questionnaire (CART-Q): development and initial validation. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14:245-57.

Koning RH. Home advantage in speed skating: evidence from individual data. *J Sports Sci* 2005;23:417-27.

La Torre A, Impellizzeri F, Dotti A, et al. La leggenda del corridore africano. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2005;67:13-20.

Le Bars H, Gernigon C, Ninot G. Personal and contextual determinants of elite young athletes’ persistence or dropping out over time. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19:274-85.

Lippi G, Longo UG, Maffulli N et al. (2009). “Genetics and sports.” *Br Med Bull* 2009; Feb 9. [Epub ahead of print].

Lippi G, Banfi G, Favaloro EJ et al. Updates on improvement of human athletic performance: focus on world records in athletics. *Br Med Bull* 2008;87:715.

Lippi G, Guidi G. [Doping and sports]. *Minerva Med* 1999;90:345-57.

MacArthur DG, North KN. “ACTN3: A genetic influence on muscle function and athletic performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2007;35:30-4.

MacArthur DG, North KN. Genes and human elite athletic performance. *Hum Genet* 2005;116:331-9.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Marian AJ, Kelly D, Mares A Jr *et al.* A missense mutation in the beta myosin heavy chain gene is a predictor of premature sudden death in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:1-10.
- Matthews P. World and Continental Records. En: *Athletics'87. International track and field annual*. London and International Publishers Ltd, London and Simon and Schuster Ltd 1987:249-66.
- McCorry P. Super athletes or gene cheats?" *Br J Sports Med* 2003;37:192-3.
- Mills M, Yang N, Weinberger R *et al.* Differential expression of the actin-binding proteins, alpha-actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Hum Mol Genet* 2001;10:1335-46.
- Moliner D. *Análisis de la preparación física en las ligas españolas de máxima categoría de distintos deportes colectivos*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2008.
- Montgomery HE, Marshall R, Hemingway H *et al.* Human gene for physical performance. *Nature* 1998;393:221-2.
- Morton RH. Home advantage in southern hemisphere rugby union: national and international. *J Sports Sci* 2006;24:495-9.
- Myburgh KH. What makes an endurance athlete worldclass? Not simply a physiological conundrum. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2003;136:171-90.
- Myerson S, Hemingway H, Budget R *et al.* Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *J Appl Physiol* 1999;87:1313-6.
- Nazarov IB, Woods DR, Montgomery HE *et al.* The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes. *Eur J Hum Genet* 2001;9:797-801.
- Neave N, Wolfson S. Testosterone, territoriality, and the

- 'home advantage'. *Physiol Behav* 2003;78:269-75.
- Nevill AM, Whyte GP, Holder RL *et al.* Are there limits to swimming world records? *Int J Sports Med* 2007;28:1012-7.
- Nevill AM, Balmer NJ, Williams AM. The influence of crowd noise and experience upon refereeing decisions in football. *Psychol Sport Exerc* 2002;3:261-72.
- Nevill AM, Holder RL, Bardsley A *et al.* Identifying home advantage in international tennis and golf tournaments. *J Sports Sci* 1997;15:437-43.
- Nevill AM, Newell SM, Gale S. Factors associated with home advantage in English and Scottish soccer matches. *J Sports Sci* 1996;14:181-6.
- Niemi AK, Majamaa K. Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *Eur J Hum Genet* 2005;13:965-9.
- North KN, Yang N, Wattanasirichaigoon D *et al.* A common nonsense mutation results in alpha-actinin-3 deficiency in the general population. *Nat Genet* 1999;21:353-4.
- Onywera VO, Scott RA, Boit MK *et al.* Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners. *J Sports Sci* 2006;24:415-22.
- Pace A, Carron AV. Travel and the home advantage. *Can J Sport Sci* 1992;17:60-4.
- Page L, Page K. The second leg home advantage: evidence from European football cup competitions. *J Sports Sci* 2007;25:1547-56.
- Patel DR, Greydanus DE. Genes and athletes. *Adolesc Med* 2002;13:249-55, v.
- Peiser B, Reilly T. Environmental factors in the summer Olympics in historical perspective. *J Sports Sci* 2004;22:981-1001; discussion 1001-2.

- Perusse L, Gagnon J, Province MA *et al.* Familial aggregation of submaximal aerobic performance in the HERITAGE Family study. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:597-604.
- Pincock S. Feature: Gene dopaje. *Lancet* 2005;366 Suppl 1:S18-9.
- Pollard R. Worldwide regional variations in home advantage in association football. *J Sports Sci* 2006;24:231-40.
- Pollard R, Pollard G. Long-term trends in home advantage in professional team sports in North America and England (1876-2003). *J Sports Sci* 2005a; 23:337-50.
- Pollard R, Pollard G. Home advantage in soccer: A review of its existence and causes. *Int J Soccer Sci* 2005b;3:25-33.
- Pollard R. Evidence of a reduced home advantage when a team moves to a new stadium. *J Sports Sci* 2002;20:969-73.
- Rankinen T, Bray MS, Hagberg JM *et al.* The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2005 update. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1863-88.
- Reverter-Masía J, Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Barbany JR, Serrano-Ostáriz E. A profile of the resistance training practices of elite Spanish club teams. *J Strength Cond Res* 2009, 23:1537-47.
- Reverter-Masía J, Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Barbany JR. The conditioning services in elite Spanish clubs of team sports. *Int J Sports Sci & Coach* 2008;3:431-43.
- Rigat B, Hubert C, Alhenc-Gelas F *et al.* An insertion/deletion polymorphism in the angiotensin I-converting enzyme gene accounting for half the variance of serum enzyme levels. *J Clin Invest* 1990;86:1343-6.

- Ruiz JR, Gomez-Gallego F, Santiago C *et al.* Is there an optimum endurance polygenic profile? *J Physiol* 2009;587(Pt 7):1527-34.
- Sánchez Bañuelos F. *Conceptos y sistemas de desarrollo del alto rendimiento deportivo*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM 2003.
- Sharp NC. The human genome and sport, including epigenetics and athleticogenomics: a brief look at a rapidly changing field. *J Sports Sci* 2008;26:1127-33.
- Simoneau JA, Bouchard C. Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *FASEB J* 1995;9:1091-5.
- Steenland K, Deddens JA. Effect of travel and rest on performance of professional basketball players. *Sleep* 1997;20:366-9.
- Sutherland TM, Wiley JP. Survey of strength and conditioning services for professional athletes in four sports. *J Strength Cond Res* 1997;11:266-8.
- Sweeney HL. Gene doping. *Sci Am* 2004;291:62-9.
- Thelwell RC, Weston NJ, Greenlees IA *et al.* Stressors in elite sport: a coach perspective. *J Sports Sci* 2008;26:905-18.
- Thomas S, Reeves C, Davies S. An analysis of home advantage in the English Football Premiership. *Percept Mot Skills* 2004;99:1212-6.
- Unal M, Ozer Unal D. Gene doping in sports. *Sports Med* 2004;34:357-62.
- Vincent B, De Bock K, Ramaekers M *et al.* ACTN3 (R577X) genotype is associated with fiber type distribution. *Physiol Genomics* 2007;32:58-63.
- Watson JC, Krantz AJ. Home field advantage: new stadium construction and team performance in professional sports.

- Percept Mot Skills* 2003;97:794-6.
- Watson JD, Crick FH. Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 1953;171:737-8.
- Williams AG, Folland JP. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *J Physiol* 2008;586:113-21.
- Williams AG, Day SH, Folland JP *et al*. Circulating angiotensin converting enzyme activity is correlated with muscle strength. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:944-8.
- Williams SJ, Kendall L. Perceptions of elite coaches and sports scientists of the research needs for elite coaching practice. *J Sports Sci* 2007;25:1577-86.
- Wolfarth B, Bray MS, Hagberg JM, *et al*. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2004 update. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:881-903.
- Wolfson S, Wakelin D, Lewis M. Football supporters' perceptions of their role in the home advantage. *J Sports Sci* 2005;23:365-74.
- Wolfson S, Neave N. Preparing for home and away matches. *Insight* 2004;2:40-3.
- Woods D, Hickman M, Jamshidi Y, *et al*. Elite swimmers and the D allele of the ACE I/D polymorphism. *Hum Genet* 2001;108:230-2.
- Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP *et al*. ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am J Hum Genet* 2003;73:627-31.

capítulo 2

El estímulo de entrenamiento

El capítulo 2 tiene por objeto establecer los fundamentos fisiológicos que justifican someter al deportista a sucesivos estímulos de entrenamiento y las bases que determinan su adecuada aplicación para la mejora del rendimiento deportivo. En el apartado 1, *“Homeostasis: clave de la adaptación”*, mostramos los mecanismos reguladores del organismo que inducen a adaptaciones estables necesarias para optimizar el rendimiento. El apartado 2, *“Estímulo óptimo de entrenamiento”*, enseña la importancia de adecuar la magnitud del estímulo de entrenamiento a las características del deportista y de la modalidad deportiva. Para este objetivo, es necesario conocer las distintas metodologías que permiten una correcta cuantificación del estímulo de entrenamiento. En el apartado 3, *“Período óptimo de recuperación”*, abordamos la importancia de la recuperación del deportista como parte integral del proceso de entrenamiento deportivo. El apartado 4, *“Desequilibrio entre el estímulo y la recuperación”*, muestra la importancia de controlar el binomio estímulo-recuperación y las consecuencias de su desequilibrio. Finalmente, en el apartado 5, *“Factores de rendimiento y niveles del estímulo de entrenamiento”*, cambiamos la perspectiva para resaltar los factores que determinan los distintos niveles de entrenamiento que es necesario desarrollar para optimizar el rendimiento de una modalidad deportiva concreta.

1

Homeostasis: clave de la adaptación

Francisco Pradas de la Fuente, Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender por qué la aplicación sucesiva de estímulos conducentes a episodios reversibles de fatiga aguda permite mejorar el rendimiento deportivo, y que en este proceso tanto el estímulo como la recuperación son partes integrales del entrenamiento.
- Comprender por qué es necesario aplicar estímulos de entrenamiento progresivamente de mayor magnitud.
- Comprender las causas por las que se fatiga un deportista y sus mecanismos reguladores, y reflexionar sobre la complejidad de este proceso y su continuo debate en la literatura científica.
- Reflexionar sobre la diferencia de aplicación práctica que tiene el análisis del rendimiento en competición sobre la base de los mecanismos reguladores que desencadenan la fatiga y de los factores de rendimiento.

Índice

- 1.1. La fatiga aguda asociada al estímulo de entrenamiento
 - La fatiga aguda como mecanismo necesario en el proceso de entrenamiento
 - Localización y etiología de la fatiga aguda
 - Modelos de fatiga aguda frente a factores de rendimiento
- 1.2. La recuperación asociada al proceso de supercompensación
- 1.3. La necesidad de estímulos progresivamente de mayor magnitud
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

Previamente a establecer la metodología de entrenamiento que permita el desarrollo de los factores que determinan el rendimiento en las distintas modalidades deportivas, es necesario conocer los fundamentos fisiológicos que justifican la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento y los principios fundamentales del proceso de entrenamiento deportivo. En este apartado enseñamos los mecanismos reguladores que permiten la adaptación del deportista, algunos de los principales modelos que intentan explicar las causas por las que el organismo se fatiga con la realización de un esfuerzo físico y la importancia del análisis de la fatiga mediante los factores que determinan el nivel de rendimiento de un determinado esfuerzo.

1.1. La fatiga aguda asociada al estímulo de entrenamiento

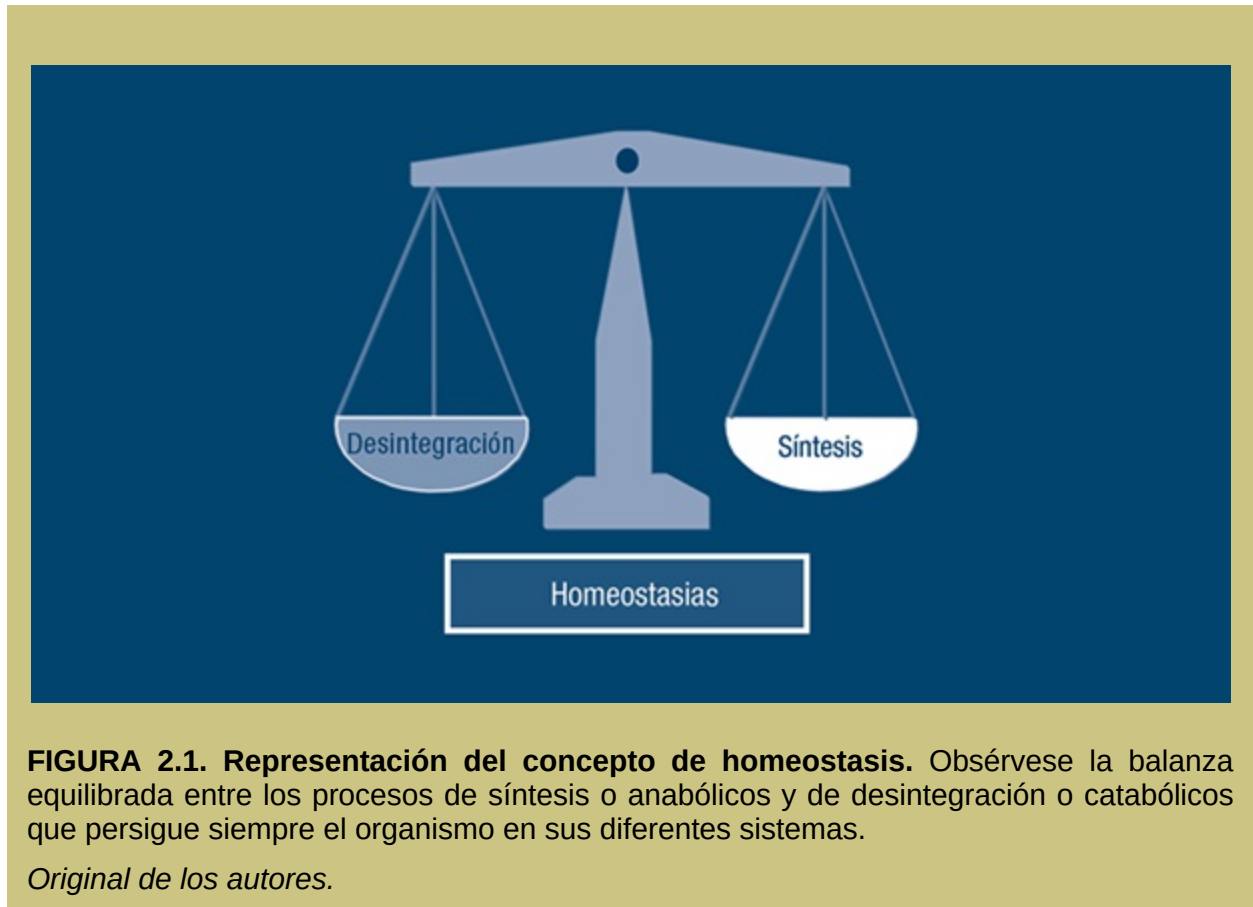
La fatiga aguda como mecanismo necesario en el proceso de entrenamiento

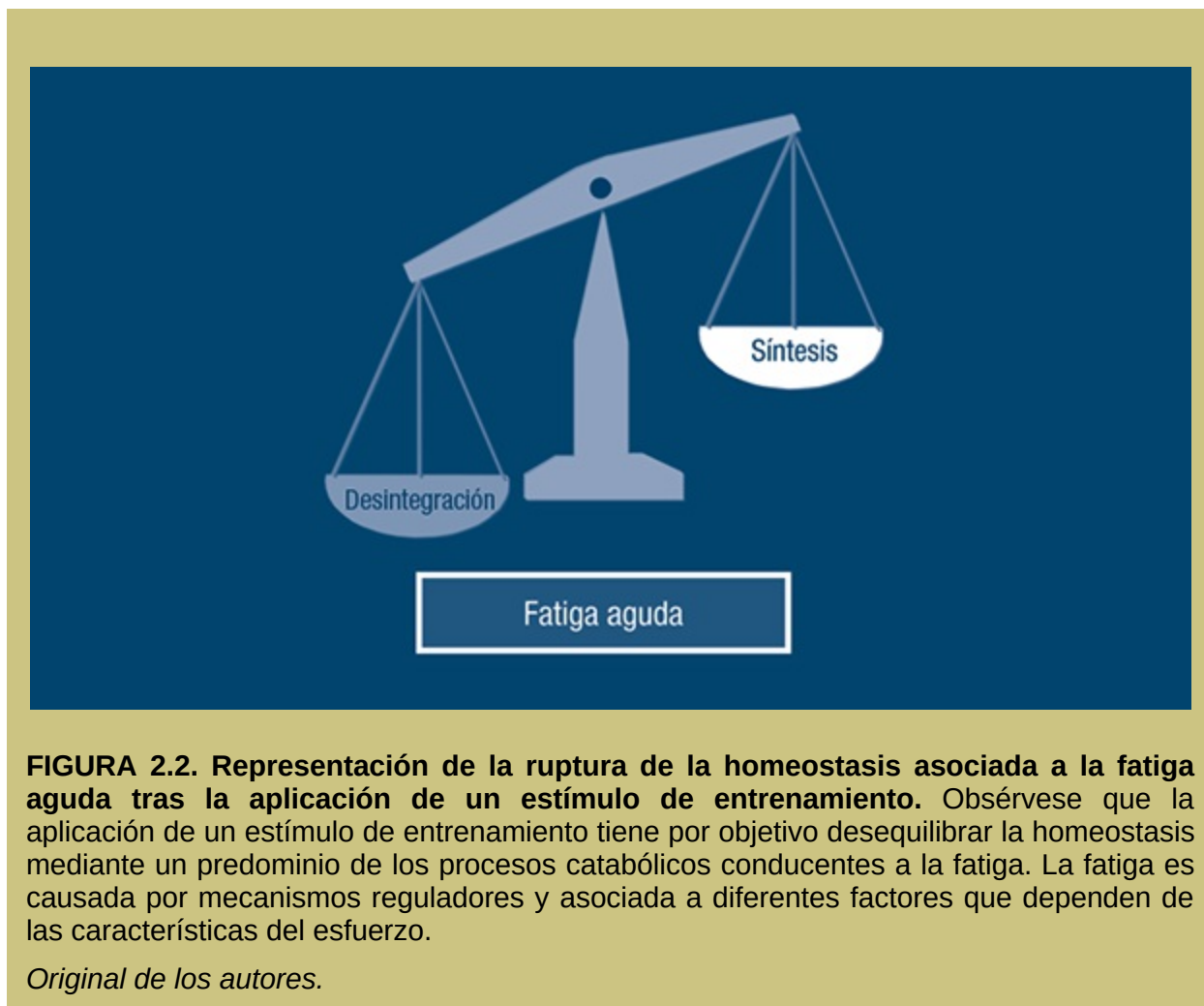
El organismo presenta respuestas reguladoras que permiten mantener todos sus sistemas en una situación de equilibrio entre los procesos de síntesis o **anabolismo** y de desintegración o **catabolismo**. Así, por ejemplo, el organismo tiene mecanismos para mantener estables los niveles de hierro, la temperatura corporal, el grado de hidratación, etc. El equilibrio de los diferentes sistemas se conoce como homeostasis. La **homeostasis** puede definirse como la constancia relativa en el medio interno del organismo, que es naturalmente mantenida por las respuestas adaptables que promueven la supervivencia sana (Weir *et al.*, 2006) (figura 2.1).

La respuesta del organismo para equilibrar los diferentes sistemas es lo que da significado al proceso de entrenamiento deportivo. Si un estímulo altera la homeostasis, el organismo intenta restablecer un nuevo equilibrio que se corresponde con la situación modificada. El objetivo del entrenamiento deportivo es la aplicación de **estímulos de entrenamiento** que permitan modificar la situación de homeostasis, induciendo un predominio de los procesos catabólicos que conducen a una situación de fatiga aguda (figura 2.2).

La **fatiga aguda** es un concepto asociado a rendimientos inferiores a los
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

que potencialmente es capaz de realizar un deportista, o a **mecanismos de defensa** que se activan ante el deterioro de determinadas funciones orgánicas y celulares. En el entrenamiento deportivo, la fatiga aguda es un estado imprescindible para conseguir respuestas de adaptación que induzcan una mejora del rendimiento deportivo.





La fatiga aguda es un indicador del umbral máximo que debe alcanzar el estímulo de entrenamiento para garantizar la eficacia del proceso de entrenamiento y la mejora del rendimiento deportivo. Desde una perspectiva muscular, se puede definir como la disminución transitoria de la capacidad de trabajo del músculo esquelético durante el ejercicio, o la incapacidad para mantener el nivel de fuerza o potencia (Enoka y Duchateau, 2008). La fatiga aguda implica un **deterioro temporal del rendimiento**, reflejando el período de tiempo entre la aplicación de un estímulo exigente, su recuperación y su adaptación (Lakier, 2000).

Localización y etiología de la fatiga aguda

Modelo “catastrófico” y fatiga muscular

Diferentes modelos han sido definidos para explicar la fatiga aguda asociada a la aplicación de un estímulo de entrenamiento. La mayoría pueden considerarse **modelos “catastróficos”**, ya que establecen como causante de la fatiga aguda el “fallo” de un determinado sistema corporal, por ejemplo, la **depleción de sustratos energéticos** o la **acumulación de metabolitos** como el ácido láctico. Entre ellos destacan el modelo cardiovascular/anaeróbico, el modelo de energía suministrada/depleción de energía, el modelo de reclutamiento muscular (fatiga central)/potencia muscular, el modelo biomecánico y el modelo psicológico/motivación (Noakes, 2000).

En el marco de este modelo “catastrófico” son innumerables los mecanismos que se han asociado a la fatiga aguda. Como ejemplo, mostramos en este apartado las causas más habituales asociadas a la fatiga muscular. El lector puede encontrar en manuales y artículos específicos los factores asociados a la fatiga aguda de otros sistemas.

Tradicionalmente, la fatiga muscular está asociada a fallos en diferentes niveles del mecanismo de contracción muscular, desde el inicio del impulso nervioso a nivel del sistema nervioso central (SNC) hasta su propagación en el músculo hasta llegar a los puentes cruzados de actina-miosina que determinan la contracción (Popova *et al.*, 2007). Atendiendo a este criterio, tradicionalmente se diferencia entre fatiga central y periférica, aunque en muchas ocasiones no es posible diferenciarla debido a que las órdenes que genera y envía el sistema nervioso pueden ser alteradas a distintos niveles por señales aferentes generadas en la periferia (Calbet y Dorado, 2006).

La **fatiga central** puede ser definida como una disminución de la capacidad para generar fuerza máxima y/o potencia muscular máxima debido a una alteración de las órdenes que genera y transmite el **sistema nervioso** a las fibras musculares (Calbet y Dorado, 2006), o cuando la disminución o pérdida de fuerza muscular se debe a un fallo del control nervioso bien por un cambio del patrón de reclutamiento de las unidades motrices, bien por una reducción de su frecuencia de descarga (Grimby *et al.*, 1981) (véanse conceptos en el apartado 2 del capítulo 3). Por tanto, se origina en el ámbito de las estructuras nerviosas que intervienen en la actividad muscular, pudiendo asociarse a las siguientes localizaciones (Green, 1987):

- Fallo de la activación neuronal.
- Inhibición aferente desde husos neuromusculares y terminaciones

nerviosas.

- Depresión de la excitabilidad de la motoneurona.
- Alteración de la transmisión del impulso nervioso.
- Fallo de la sinapsis.

La **fatiga periférica** tiene lugar en las estructuras que intervienen en la acción muscular y se produce en niveles que se encuentran por debajo de la placa motriz, que determina el punto de contacto entre el axón de la motoneurona y la célula muscular (Allen *et al.*, 1992). Este tipo de fatiga se debe a la alteración de la generación de tensión en las fibras musculares (Calbet y Dorado, 2006), es decir, es la propia **fibra muscular** la que no puede mantener la fuerza, sugiriendo para su génesis tres posibles mecanismos:

- Un fracaso electromecánico del músculo, que puede deberse a un defecto de la excitación celular o a una activación contráctil insuficiente ante una excitación normal (desacoplamiento excitación-contracción).
- Una disminución del aporte energético necesario para la contracción sea a partir de la depleción de sustratos, por bloqueo enzimático de las vías metabólicas, sea por acumulación de productos catabólicos.
- La pérdida cuantitativa de maquinaria contráctil o las alteraciones cualitativas de la fibra muscular también pueden producir fatiga precoz (Edwards, 1986).

Algunos autores indican los siguientes puntos de aparición de la fatiga periférica (Vøllestad y Sejersted, 1988):

- Disminución de la velocidad de conducción del potencial de acción sobre la superficie de la fibra.
- Modificación de la transmisión de la señal desde los tubos T al retículo sarcoplasmático.
- Reducción de la liberación de calcio intracelular durante la actividad.
- Reducción de la sensibilidad al calcio de los miofilamentos finos (troponina C).
- Reducción de la tensión producida por los puentes de actina y miosina.

En muchas ocasiones es difícil atribuir la fatiga a mecanismos únicamente periféricos, ya que en toda actividad motriz voluntaria hay siempre una participación del SNC (Amann y Dempsey, 2008); es decir, se puede precipitar la fatiga por mecanismos periféricos (acumulación de metabolitos),

pero el factor desencadenante de la fatiga periférica puede ser de tipo central (Calbet y Dorado, 2006).

Para evaluar la existencia de fatiga central de forma cualitativa y cuantitativa se utilizan procedimientos que son: electromiografía de superficie y de aguja, estimulación eléctrica de las fibras musculares o del nervio que inerva las fibras musculares analizadas, estimulación eléctrica y magnética transcortical y cervicomedular (Calbet y Dorado, 2006). Básicamente, se solicita del deportista la ejecución de una contracción voluntaria máxima y, en el momento en que disminuye su aplicación de fuerza, se estimula el músculo mediante impulsos eléctricos. Si en este caso aumenta la fuerza, se considera que la fatiga es central debido a que el músculo ha sido capaz de manifestar mayor nivel de fuerza. Para determinar la localización de la fatiga también se utiliza un estudio del potencial de acción con técnicas de electromiografía. Si el potencial de acción disminuye y también lo hace la fuerza generada, se considera que la fatiga es de origen central. Si el potencial de acción no disminuye pero se asocia a una disminución de la fuerza, se considera que la fatiga es de origen periférico (Fernández *et al.*, 2003).

Los procesos fisiológicos y bioquímicos que son responsables de los cambios del tejido muscular y que conducen a la aparición de la fatiga son muy numerosos y de gran complejidad. Los principales mecanismos asociados con la etiología de la **fatiga muscular** son las **alteraciones del suplemento de energía**, la **acumulación de metabolitos**, las **alteraciones hidroelectrolíticas y minerales**, las **alteraciones de la captación de aminoácidos y factores neuroendocrinos**.

Alteraciones del suplemento de energía

Las **alteraciones del suplemento de energía** están asociadas a los distintos sustratos energéticos, adenosín trifosfato (ATP), fosfocreatina (PCr), glucógeno, ácidos grasos y proteínas.

El aporte suficiente de **adenosín trifosfato (ATP)** al aparato contráctil es imprescindible para producir la contracción muscular. El contenido de ATP libre del sarcoplasma muscular es muy limitado, permitiendo tan sólo contracciones de máxima intensidad durante un tiempo inferior a 5 seg (Hirvonen *et al.*, 1987). De ahí que todo incremento de la actividad contráctil del músculo comporte una aceleración de los procesos metabólicos

destinados a restituir el ATP gastado. La incapacidad para desarrollar trabajo y la aparición de la fatiga surgen como consecuencia de un desequilibrio entre la velocidad de utilización del ATP por el aparato contráctil y la velocidad de resíntesis del ATP (Barclay *et al.*, 1995). La mayoría de los estudios parecen indicar que el descenso de la concentración muscular de ATP no es responsable de la fatiga. De hecho, como mecanismo de alarma el descenso del ATP, incluso en acciones realizadas a máxima intensidad, es insignificante (Hirvonen *et al.*, 1987). En todo caso, el descenso de la concentración de ATP podría afectar en mayor medida a la velocidad la contracción muscular que la capacidad para generar tensión máxima (Calbet y Dorado 2006).

En el músculo, la **fosfocreatina (PCr)** se halla en una concentración unas cuatro veces superior a la del ATP. Estos depósitos de PCr intentan restaurar los niveles de ATP, ocasionando su descenso a nivel muscular. Diferentes estudios demuestran que existe una correlación inversa entre las concentraciones de ATP y PCr con respecto a la fatiga muscular. Sin embargo, aún se duda de si este fenómeno se debe a una relación causa-efecto o es puramente casual; como las reservas de estos metabolitos nunca están completamente agotadas, parece que este hecho es un mecanismo de defensa de la integridad celular. Los valores mínimos observados en un estado de fatiga intensa son ~70% para el ATP y ~10% para la PCr en situación de reposo, siendo la magnitud de la pérdida proporcional a la intensidad del ejercicio realizado (Roberts y Smith, 1989). Los niveles mínimos de PCr muscular se alcanzan entre los 10 y los 30 seg de iniciado un esfuerzo intenso (Greenhaff *et al.*, 1994). De hecho, se ha demostrado que, en una carrera de 100 m, después de los primeros 60 m el deportista no es capaz de agotar en mayor medida los depósitos de PCr, asociándose a una disminución de la velocidad en la parte final de la prueba (Hirvonen *et al.*, 1997). Por este motivo, muchos investigadores consideran que la depleción de PCr contribuye a la aparición de la fatiga en ejercicios de gran intensidad y corta duración (Saltin, 1990; Hirvonen *et al.*, 1987). La capacidad de recuperación de la PCr en los períodos de pausa activa o pasiva cuando se realizan acciones intermitentes, como por ejemplo en los deportes de equipo y de raqueta, se considera un factor determinante para el mantenimiento de la intensidad en las sucesivas acciones de alta intensidad (Spencer *et al.*, 2006).

Una de las hipótesis más extendidas para explicar la disminución del rendimiento y la aparición de fatiga durante la realización de un esfuerzo es

la que lo relaciona con la disminución del glucógeno muscular. Biopsias musculares antes y después del ejercicio indican que la concentración de **glucógeno** es un determinante principal de la resistencia muscular tanto en las fibras rápidas como en las lentas, y que su consumo es selectivo para las fibras musculares implicadas en el ejercicio que se esté realizando (Roberts y Smith, 1989; Shalin *et al.*, 1989). Cuando se agotan las reservas musculares de glucógeno, el flujo de hidratos de carbono hacia el ciclo de Krebs pasa a depender exclusivamente de la captación muscular de glucosa plasmática, es decir, del balance entre su producción hepática y su captación muscular. Parece claro que el contenido de glucógeno de un músculo será determinante para la capacidad de resistencia a la fatiga muscular de ese músculo. La sobrecarga de glucógeno eleva los niveles de reserva del músculo y se asocia con un aumento de la resistencia en ejercicios de larga duración. Además, la ingesta de hidratos de carbono durante el esfuerzo retrasa la depleción del glucógeno muscular y, por tanto, retrasa la aparición de la fatiga (Hargreaves, 1984). En este sentido, el entrenamiento de resistencia tiene dos efectos positivos, pues determina un incremento de los depósitos de glucógeno muscular y aumenta la utilización de las grasas y el ahorro de glucógeno (Costill *et al.*, 1988). Sin embargo, la fatiga asociada a las reservas de glucógeno sólo puede considerarse en esfuerzos de alta intensidad y de una duración superior a ~1 h debido a que es en este período de tiempo cuando se ha observado la depleción de los depósitos (Palmer *et al.*, 1998; Jeukendrup *et al.*, 1997; Hultman y Sjöholm, 1983).

La cantidad de **grasa** de que se dispone es muy elevada y su capacidad no puede considerarse un factor asociado a la fatiga. Sin embargo, en esfuerzos de larga duración, cuyo rendimiento está limitado por los depósitos de glucógeno, la obtención de parte de la energía a partir de ácidos grasos retrasa el consumo de glucógeno hepático y muscular, permitiendo un tiempo de trabajo superior y/o de mayor intensidad. En consecuencia, este aumento de la β -oxidación como fuente de energía determina una mayor disponibilidad de reservas de glucógeno y se ha sugerido como circunstancia responsable del aumento de la capacidad de resistencia (Guezennec *et al.*, 1991). De hecho, algunos investigadores informan acerca de un incremento del contenido de lípidos en el músculo entrenado para resistencia, así como un incremento del transporte de ácidos grasos libres hacia la mitocondria, donde se lleva a cabo la β -oxidación (Després *et al.*, 1984). Diversos estudios demuestran que la participación de los ácidos grasos en el metabolismo

oxidativo es importante para prevenir la aparición de la fatiga; asimismo, los sujetos entrenados en resistencia obtienen una mayor fracción de energía a partir de la oxidación de las grasas, probablemente a expensas de un incremento de la oxidación de triglicéridos intramusculares (Calbet y Dorado, 2006).

La utilización por el organismo de **proteínas** como sustrato energético en cantidades importantes no es muy habitual durante el ejercicio, siendo muy baja la energía utilizada que proviene de las proteínas en la primera hora de ejercicio. Sin embargo, a medida que aumentamos el tiempo de actividad se incrementa el uso de proteínas aproximadamente un 15-20%, correspondiendo su degradación a las proteínas de tipo no contráctiles, lo que genera un incremento de la concentración intramuscular de aminoácidos libres y su posterior liberación a la sangre en forma de alanina, aunque también se encuentra glutamina suministrada por el intestino y aminoácidos ramificados suministrados por el hígado (Graham *et al.*, 1991). En este sentido, la fatiga no se ha asociado a un déficit de proteínas como sustrato energético.

Acumulación de metabolitos

En los distintos procesos metabólicos para suministrar ATP a la célula muscular se generan diversos **metabolitos** que se han asociado a la aparición de la fatiga aguda: hidrogeniones (H^+), lactato, fósforo inorgánico (P_i), adenosín monofosfato (AMP) y amonio (NH_4^+).

Clásicamente, se relacionaba la **acumulación de lactato** con la aparición de la fatiga; sin embargo, en la actualidad se considera que la mayoría de los efectos del lactato sobre la fatiga muscular local están relacionados fundamentalmente con el incremento y la **acumulación de H^+** generados por la disociación del ácido láctico. Durante el esfuerzo de alta intensidad, la concentración de H^+ aumenta de forma proporcional a la producción de lactato; como consecuencia, el pH puede disminuir del orden de 0,3-0,6 unidades respecto al valor en reposo, que se encuentra próximo a 7. Tanto la **disminución del pH muscular** como el **descenso de la capacidad tampón** del músculo reducen la capacidad de rendimiento (Fitts, 1994), atribuida a la inhibición de la glucólisis, y, por consiguiente, hay una disminución de la capacidad para generar ATP con la celeridad requerida (Connett *et al.*, 1984).

Parece ser que la inhibición de la glucólisis durante la acidosis metabólica depende en gran medida de la fosfofructocinasa, lo que demuestra una elevada dependencia del pH. En este sentido, hay estudios que describen una disminución del rendimiento del 33% cuando el pH desciende de un valor de 7,0 a 6,2 en el músculo de la rana (Fabiato y Fabiato, 1978). En este manual el lector encontrará una constante referencia a la limitación del rendimiento de distintos esfuerzos en función de los niveles previstos de concentración de lactato.

El **fósforo inorgánico (Pi)** procedente de la hidrólisis de la PCr puede unirse a la cabeza de la miosina limitando la producción de fuerza. Aunque no se conoce con exactitud la relación de Pi con la fatiga, se la asocia con la formación de PO_4H_2 . La acidosis muscular está unida a un incremento de Pi muscular a través de un desplazamiento del equilibrio de la creatincinasa hacia la depleción de PCr y al incremento de la proporción de Pi presente como PO_4H_2 (Wilkie, 1986). Parece demostrado que la relación del Pi con la fatiga es mayor entre las fibras rápidas (Stienen *et al.*, 1992). También se ha informado de que durante el trabajo basado en contracciones repetidas existe una relación inversa entre algunos indicadores funcionales como el Pi y la PCr. Este comportamiento ha motivado que se utilice el índice Pi/PCr como parámetro de control de la fatiga y de la capacidad de trabajo del deportista (Dobson *et al.*, 1978).

En los esfuerzos intensos se produce una elevada cantidad de **adenosín monofosfato (AMP)**, inhibiendo la enzima adenilatocinasa (AK). La inhibición de la AK determina un aumento de la concentración de adenosín difosfato (ADP), el cual a altas concentraciones inhibe las ATPasas, incluida la miosina ATPasa. La inhibición de la miosina ATPasa disminuye la capacidad para generar tensión, es decir, produce fatiga. En cualquier caso, el incremento de AMP y ADP estimula la AMP desaminasa, aumentando la producción de AMP y NH_3 (Cooke y Pate, 1985).

Aunque la concentración de **amonio** (NH_4^+) en el plasma aumenta tanto durante el ejercicio de alta intensidad como durante el esfuerzo prolongado, no existe evidencia experimental que lo relacione como agente desencadenante de fatiga en el esfuerzo prolongado. El amonio se acumula en el músculo tras el ejercicio por la desaminación del AMP y/o aminoácidos. La concentración de amonio después del ejercicio es más alta en las fibras rápidas que en las lentas, y proporcionalmente al trabajo físico realizado, por

lo que su relación es inversa al tiempo necesario para que se instaure la fatiga muscular local. Asimismo, altos niveles de amonio en sangre están asociados con el inicio de la fatiga muscular local que sigue al ejercicio físico de alta intensidad. Sin embargo, entrenamientos más moderados y de mayor duración pueden provocar disminución de NH_4^+ en sangre (Sharp *et al.*, 1986). Cuando la concentración de amonio se incrementa dentro del músculo, suprime el metabolismo oxidativo por inhibición de las enzimas isocitrato deshidrogenasa y piruvato deshidrogenasa. Esta fatiga, asociada al incremento del ion amonio, aparece en esfuerzos cortos de muy alta intensidad (Córdova *et al.*, 1995; Mutch y Banister, 1983). En cualquier caso, no está totalmente demostrado que el incremento del ion amonio constituya un factor muy limitante del ejercicio (Eriksson *et al.*, 1985).

Alteraciones hidroelectrolíticas y minerales

El **equilibrio térmico** durante el esfuerzo se ve dificultado por el elevado incremento del calor metabólico, de forma que la temperatura corporal se incrementa de forma progresiva con la duración del esfuerzo. La regulación de la temperatura corporal se ve dificultada cuando el esfuerzo físico se realiza a una elevada temperatura y humedad. La sudoración es el principal mecanismo de que dispone el organismo para disipar el incremento de calor inducido por el esfuerzo físico. Esto implica el paso de líquido intracelular al espacio extracelular, produciendo de forma progresiva con la duración del esfuerzo un aumento de la **deshidratación**, que determina finalmente un descenso del rendimiento (Cheuvront y Haymes, 2001). A través del **sudor**, además de agua, se produce una **pérdida de iones**. Todos estos cambios hidroelectrolíticos ocasionan una alteración del potencial de las membranas celulares y de la transmisión del impulso nervioso (Mc Kenna 1992; Sjøgaard *et al.*, 1988). El incremento del K^+ extracelular ocasiona una disminución de la excitabilidad y una reducción de la velocidad de conducción (Bouissou *et al.*, 1989).

Una situación de déficit marginal de los minerales se asocia directamente con el nivel de capacidad física y, en casos extremos, con el desarrollo de estados patológicos como el síndrome de fatiga muscular.

El **calcio (Ca)** es el quinto elemento químico en orden de abundancia en el organismo. Interviene en funciones tan importantes como la transmisión nerviosa, la contracción muscular, la coagulación de la sangre, así como en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

diversas hormonas que necesitan este elemento para su mecanismo de acción. Durante la realización de ejercicio es imprescindible, pues interviene en el proceso excitación-contracción de la fibra muscular. Existe una relación directa entre la fatiga muscular y una alteración funcional del retículo sarcoplasmático responsable de almacenar y liberar el Ca, bien por una disminución de su liberación y, por tanto, una disminución de su concentración, o bien por una disminución de su sensibilidad (Williams y Klug, 1995). Durante el ejercicio físico se produce un aumento de H^+ en el interior de la fibra muscular, provocando un aumento del umbral para el acoplamiento excitación-contracción (Belcastro *et al.*, 1985). Este aumento de H^+ dificulta el enlace del Ca con la troponina C, obstaculizando la formación de puentes cruzados (Inesi y Hill, 1983). La fatiga muscular contribuye a la filtración de iones potasio desde las fibras musculares activas, alterándose la liberación del calcio y perjudicando, por tanto, las posibilidades de creación de puentes cruzados de actina y miosina (Sjøgaard, 1986).

El **magnesio (Mg)** se encuentra ampliamente distribuido en los tejidos y, por tanto, interviene en múltiples procesos fisiológicos. Es esencial para la contracción muscular, y, de hecho, la aparición de calambres y fatiga muscular es frecuente en estados deficitarios, como ocurre cuando se realiza ejercicio de resistencia. Así, la deficiencia crónica de este mineral provoca alteraciones bioquímicas, electrofisiológicas y morfológicas en el músculo esquelético que coadyudan a una disminución del rendimiento deportivo y a la aparición del estado de fatiga muscular (Córdova *et al.*, 1992).

El **cinz (Zn)** es otro mineral relacionado con la fatiga al participar en más de 300 metaloenzimas. Está relacionado con la actividad de numerosas enzimas que actúan en todas las áreas del metabolismo, interviniendo en múltiples procesos fisiológicos y en el equilibrio acidobásico, que se hacen más patentes durante el ejercicio, sobre todo si éste es intenso y duradero. Es necesario para la capacidad de esfuerzo del músculo, siendo trascendente en ejercicios de resistencia y en la resistencia a la fatiga, pues en situaciones de deficiencias latentes de este elemento se ha visto una clara disminución tanto del rendimiento general como de la resistencia física. Algunos autores piensan que su influencia sobre la actividad de la lactato deshidrogenasa (LDH) modifica la acumulación de ácido láctico muscular durante el ejercicio; por este motivo, algunos estudios informan de que la suplementación con Zn puede conseguir un retraso de la aparición de fatiga o

mejorar el rendimiento físico (Córdova y Álvarez-Mon, 1995).

El **hierro (Fe)** es el elemento fundamental para la formación de hemáties. Está presente en todos los sistemas principales del organismo. Sin embargo, de sus múltiples implicaciones metabólicas destacan sus importantes funciones en el transporte de O₂ y de electrones, formando parte además de diversas metaloenzimas. En general, la deficiencia de Fe se manifiesta como un estado anémico que afecta también el sistema inmunitario, lo que puede causar un mayor deterioro del organismo y originar un síndrome de fatiga (Clement, 1981).

Alteraciones de la captación de aminoácidos

El triptófano es el precursor de un importante neurotransmisor, la serotonina, también conocida como 5-hidroxitriptamina (5HT), responsable del sueño. Cuando el aporte energético se ve comprometido, como así ocurre en ejercicios de larga duración, se ha observado que la célula muscular es capaz de utilizar aminoácidos de cadena ramificada para la obtención de energía. Esto ocasiona un **desequilibrio de los aminoácidos sanguíneos**, por lo que se altera la captación por parte de las neuronas de estos **aminoácidos de cadena ramificada** respecto a otro grupo denominado **aminoácidos aromáticos** (tirosina, fenilalanina y triptófano), precursores de neurotransmisores y de las catecolaminas. Como consecuencia, el coeficiente triptófano/aminoácidos de cadena ramificada se modifica a favor del triptófano, lo que eleva los niveles de la 5HT, apareciendo sensación de cansancio, sueño y fatiga (Meeusen *et al.*, 2007).

Factores neuroendocrinos

Algunas hormonas y compuestos químicos regulados por el estrés asociado al ejercicio pueden modular las funciones del sistema inmunitario (Córdova y Álvarez-Mon, 1999). Numerosos autores destacan el **desequilibrio hormonal** como uno de los mecanismos que conduce al estado de sobreentrenamiento (véase el concepto en el apartado 4.1). Entre estas sustancias desencadenantes de un estado de fatiga se encuentran los neuropéptidos, la hormona adrenocorticotropa, el cortisol, la testosterona y las catecolaminas, de las que se sabe que causan una redistribución de los linfocitos y tienen efectos directos sobre su función (Tsopanakis y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Tsopanakis, 1998). La **ratio testosterona-cortisol** se ha sugerido en diversas investigaciones como un indicador del estado de sobreentrenamiento (Halsen y Jeukendrup, 2004). Aunque todos estos estudios proporcionan información sobre los cambios que pueden asociarse con la fatiga y el sobreentrenamiento, los resultados obtenidos no son concluyentes.

Modelo del gobernador central

El modelo “catastrófico” asume que la fatiga ocurre asociada al “fallo” de un determinado sistema corporal, que es dependiente de las características del ejercicio y que conduce rápidamente al agotamiento (Baron *et al.*, 2008). Así, la acumulación de metabolitos como el ácido láctico, o el agotamiento de sustratos u otros factores analizados en este apartado determinan el fracaso “catastrófico” de la homeostasis en los músculos ejercitados, conduciendo directamente a terminar el ejercicio.

Noakes (2000) presentó un nuevo modelo para explicar la fatiga aguda, el **modelo del “gobernador central”**, desarrollado en detalle posteriormente en una serie sucesiva de artículos (Noakes *et al.*, 2005; Lambert *et al.*, 2005; Gibson y Noakes, 2004; Noakes *et al.*, 2004ab). Los autores consideran que no hay pruebas convincentes que justifiquen la fatiga como consecuencia del “fallo” de un determinado sistema. Básicamente proponen que todos los sistemas fisiológicos deben ser homeostáticamente regulados con el fin de prevenir un “fallo catastrófico”, que comprende la lesión celular irreversible e incluso la muerte. Este modelo propone que el esfuerzo físico lo controla un gobernador central en el cerebro, de modo que el cuerpo humano funciona como un sistema complejo durante el ejercicio. Desde esta perspectiva, las reservas de sustratos energéticos y la acumulación de calor, entre otras muchas variables fisiológicas, son monitorizadas con el fin de generar cálculos subconscientes que determinan un ajuste continuo de la potencia desarrollada durante el ejercicio. De acuerdo con este nuevo modelo, los cambios biológicos de los sistemas periféricos actúan como señales aferentes que son controladas en el cerebro de una manera integral. El **cerebro** alcanza este control variando continuamente la **ratio** de trabajo y la demanda metabólica. Así, sobre la base de un **control anticipativo**, que es modificado por el *feedback* aferente de muchos sistemas fisiológicos, el cerebro altera continuamente la estrategia de esfuerzo, siendo la sensación de fatiga la interpretación consciente de esta **regulación homeostática**. Según esta

explicación nueva, la percepción creciente de incomodidad con el esfuerzo cada vez reduce más el deseo consciente de anular este mecanismo de control, conduciendo a disminuir la intensidad o a finalizar el ejercicio si no es posible disminuir la intensidad. Así pues, la fatiga es la manifestación consciente de los procesos subconscientes del SNC.

Básicamente, se puede considerar que este nuevo modelo propone que durante el ejercicio el cerebro conduce el esfuerzo en respuesta al *feedback* aferente de múltiples sensores centrales y periféricos con el objetivo de preservar la homeostasis. Más lejos, este modelo propone que la *ratio* de **percepción de fatiga** percibida durante el ejercicio (véase el concepto en el apartado 2.2) es un **mecanismo protector** durante el ejercicio, anulando el deseo consciente de aumentar la intensidad del ejercicio si tal aumento puede amenazar la homeostasis en ese momento o posteriormente. En consecuencia, los deportistas mantienen una capacidad de reserva para prevenir cualquier “fallo catastrófico” de la homeostasis.

Varios estudios realizados, principalmente por el propio grupo de Noakes, dan soporte a los principios teóricos establecidos en este nuevo modelo de comprensión de la fatiga durante el esfuerzo. Por ejemplo, Noakes (2007) ha mostrado que los maratonianos finalizan la competición sin evidencia de un “fallo catastrófico” de la homeostasis. De forma análoga, Baron *et al.*, (2008) mostraron que en un ejercicio ejecutado a la intensidad del máximo estado estable de lactato (MLSS) (véase el concepto en apartado 2.3 del capítulo 4) durante el máximo tiempo posible se evidencia el agotamiento sin “fallo” de ningún sistema fisiológico, pero en asociación con el incremento progresivo de la percepción subjetiva de fatiga, tal y como propone el “modelo del gobernador central”. Esto sugiere que la finalización del esfuerzo pudo ser inducida por un control integral de la homeostasis de los distintos sistemas fisiológicos para asegurar el mantenimiento de aquélla. En esta línea, Crewe *et al.*, (2008) mostraron que la *ratio* de incremento de la percepción subjetiva de fatiga predice con exactitud la duración del esfuerzo hasta el agotamiento a una determinada intensidad fija en diferentes condiciones ambientales, asociándose el incremento de la temperatura con el incremento de la percepción de fatiga. Así, los autores proponen que el cerebro integra al inicio del esfuerzo las sensaciones de temperatura e intensidad predeterminando la duración del ejercicio en base a su propia decisión de cuándo ocurrirá la fatiga, previniendo así en este caso un ascenso excesivo de la temperatura corporal. Entonces se genera y aumenta directamente una

percepción consciente de esfuerzo, de modo que se alcance la percepción subjetiva máxima tolerable y el ejercicio finalice en el momento preseleccionado. Además, se ha demostrado que la regulación del esfuerzo para no inducir un “fallo catastrófico” se puede establecer en los primeros minutos de ejercicio (Swart *et al.*, 2009a), pero que esta regulación anticipativa puede modificarse durante el esfuerzo en respuesta a factores ambientales, fisiológicos, psicológicos y otros (Swart *et al.*, 2009b). Así, por ejemplo, la confusión sobre cuándo finaliza el esfuerzo conduce al deportista a valores más elevados de percepción subjetiva de fatiga en relación con una misma carga de trabajo. Globalmente, esto implica que el esfuerzo se controla de una manera anticipativa y adaptable.

Ciertamente, la propuesta de este innovador modelo de explicar la fatiga ha generado un intenso e **interesante debate** en la literatura científica. El ejemplo más clarificador, y de recomendable lectura, es el artículo de revisión crítica de Weir *et al.*, (2006) y la replica realizada por el grupo de Noakes. Esto permite al lector conocer la complejidad de los mecanismos subyacentes a la fatiga en los distintos esfuerzos.

Modelos de fatiga aguda frente a factores de rendimiento

Desde nuestra perspectiva, aunque parece evidente el papel del cerebro en la regulación de la homeostasis, lo importante, independientemente de la concepción teórica de los distintos modelos, es que el estímulo de entrenamiento que lleva a la fatiga es el elemento imprescindible para producir la adaptación del deportista. Si, por ejemplo, mediante la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento un deportista dispone de una mayor reserva de glucógeno muscular, su fatiga en esfuerzos de larga duración se presentará después de un mayor tiempo de esfuerzo y/o habiendo desarrollado una mayor velocidad de desplazamiento. Esto es independiente de si la explicación de la fatiga es un “fallo” de las reservas de hidratos de carbono o una regulación central que limita el esfuerzo como consecuencia de la disminución progresiva de las reservas de este sustrato. Desde esta perspectiva, el hecho de que el proceso de entrenamiento determine un incremento de la duración o la intensidad del esfuerzo en que se produce un **“fallo catastrófico”** en un sistema concreto o que determine que un mismo nivel de **regulación consciente o subconsciente** por el cerebro se produzca a

una mayor intensidad y/o duración del esfuerzo es de momento un área de interés más asociada a la **investigación básica** que a la **investigación aplicada** al rendimiento deportivo.

Otro aspecto de interés es el alejamiento que habitualmente existe entre los distintos modelos que tratan de explicar la fatiga y los **factores que realmente limitan el rendimiento** en una determinada modalidad deportiva. De acuerdo con Ekblom (2000), resulta simplista el intento de explicar mediante un único modelo de fatiga la variedad de factores que influyen en el rendimiento de las distintas modalidades deportivas. Ciertamente, este autor comenta que nunca ha oído a persona alguna decir que el funcionamiento físico en el deporte está limitado por un solo factor, por ejemplo el VO_2 máx. Para la mayoría de los científicos y otras personas interesadas en la biología humana, es obvio que el **funcionamiento físico**, tanto en general como en un deporte específico, lo determina una **combinación de muchos factores** fisiológicos, biomecánicos, psicológicos y otros. La importancia relativa de cada uno de estos factores depende del tipo de deporte, de las condiciones reales y de las variaciones individuales. Sirva como ejemplo que la fatiga de un maratoniano la explicarían los diferentes modelos principalmente por una limitación de las reservas de hidratos de carbono, por la termorregulación, por la deshidratación y por la resistencia del sistema musculoesquelético, etc. Ciertamente, los valores del VO_2 máx. en un maratoniano no son responsables directamente de la fatiga, aunque en realidad el consumo máximo de oxígeno sea uno de los factores más determinantes para su rendimiento.

Pensamos que este enfoque de **análisis del rendimiento** desde una **perspectiva multifactorial** es más práctico y real para entender los objetivos que persigue el proceso de entrenamiento que los tradicionales análisis que establecen los modelos de fatiga, y, en consecuencia, desde esta perspectiva se analizan en este manual los distintos factores que hay que desarrollar para mejorar el rendimiento en las distintas modalidades deportivas.

1.2. La recuperación asociada al proceso de supercompensación

Los principios biológicos que sustentan la adaptación biológica, en este caso al ejercicio físico, consideran necesarios períodos caracterizados por la fatiga

aguda seguidos por fases de regeneración orgánica que devuelvan al deportista a un estado psicobiológico similar al que ya poseía o incluso algo mejorado. Así, durante el **período de recuperación** el organismo intenta **restablecer la homeostasis** mediante un predominio de los procesos anabólicos en los sistemas implicados en la fatiga asociada al estímulo de entrenamiento (figura 2.3).

De especial interés es que los **procesos anabólicos** durante el período de recuperación son de una magnitud superior a los procesos catabólicos asociados a la fatiga inducida por el estímulo de entrenamiento, y, como consecuencia, se observa un **proceso de supercompensación** que establece el nuevo equilibrio u homeostasis en un **nivel de rendimiento superior** en los sistemas implicados. En la figura 2.4 se representan todas las fases del proceso de supercompensación descritas previamente, y que determinó por primera vez Selye en 1936.

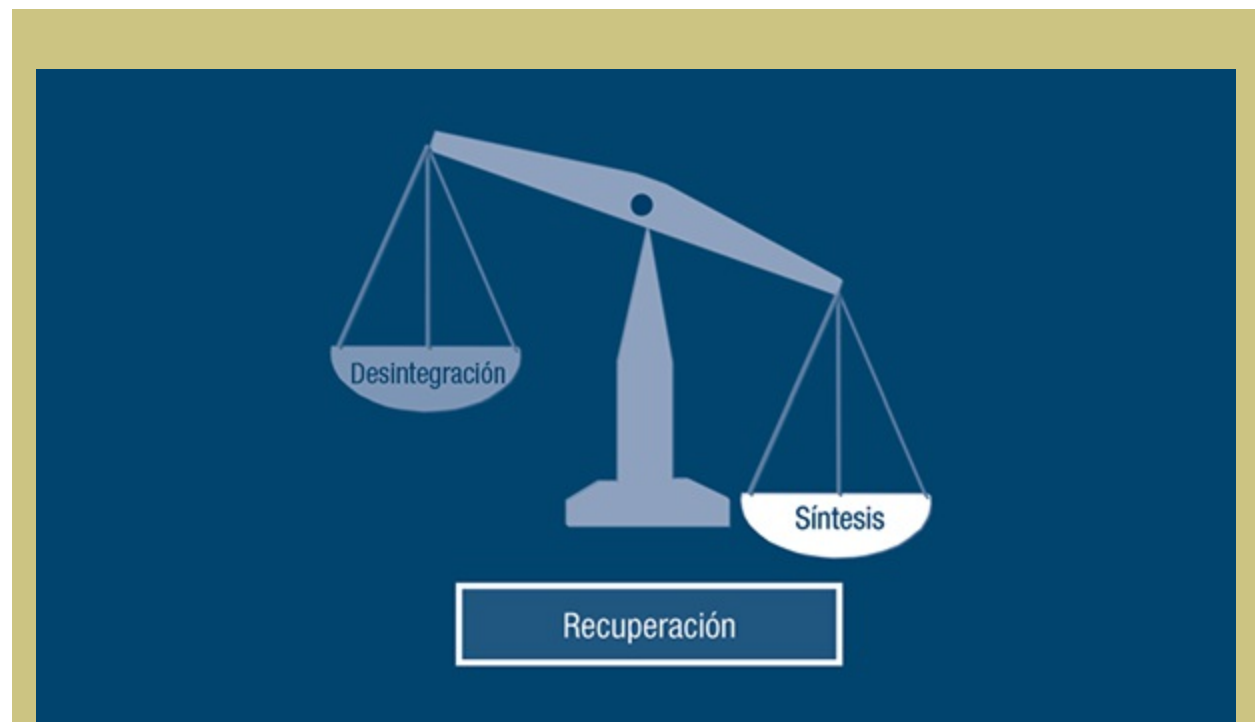


FIGURA 2.3. Representación del predominio anabólico durante el período de recuperación que restablece un nuevo nivel de homeostasis. Obsérvese que, cuando finaliza el esfuerzo que conduce a la fatiga, en el organismo en su constante búsqueda de la homeostasis predominan durante el período de recuperación los procesos de síntesis para compensar los procesos catabólicos dominantes durante la aplicación del estímulo de entrenamiento.

Original de los autores.

El **proceso de supercompensación** se considera un **mecanismo de alarma** que induce al organismo a niveles superiores de rendimiento con el objetivo de que, si se somete al mismo estímulo de entrenamiento, se produzca un menor desequilibrio o ruptura de la homeostasis.

1.3. La necesidad de estímulos progresivamente de mayor magnitud

La **mejora del rendimiento deportivo** requiere obtener **adaptaciones estables** en los distintos sistemas implicados, para lo cual es necesario someter sucesivamente al organismo a estímulos de entrenamiento que determinen un nivel suficiente de fatiga aguda o ruptura de la homeostasis. La supercompensación determina un nivel superior de rendimiento, y, por tanto, si aplicamos siempre el mismo estímulo de entrenamiento, los procesos catabólicos que conduce a la fatiga y, por ende, la ruptura de la homeostasis serán de un nivel inferior (figura 2.5).

En consecuencia, el conocimiento del proceso de supercompensación, a la vez que nos determina la adaptación real del deportista hacia un nivel más elevado de rendimiento, nos obliga a reflexionar sobre que, para obtener un rendimiento progresivamente superior, debemos incrementar en la misma medida el estímulo de entrenamiento para que se vuelva a producir una ruptura de la homeostasis de un nivel suficiente. De esta forma, el organismo intentará continuamente supercompensarse para buscar su equilibrio en niveles superiores de rendimiento (figura 2.6).

En este sentido podemos definir el proceso de adaptación de un deportista como las transformaciones de los sistemas funcionales físicos (p. ej., hipertrofia muscular, incremento del VO_2 máx., reclutamiento de fibras) y psíquicos (p. ej., tolerancia al esfuerzo) que se producen con la repetición sucesiva de estímulos de entrenamiento que llevan a estados de fatiga aguda que requieren un período óptimo de recuperación.



FIGURA 2.4. Las distintas fases del proceso de supercompensación. Obsérvese primero la relación entre las dos fases descritas previamente con el nivel de rendimiento de los sistemas implicados: una disminución del rendimiento asociada a la fatiga provocada por el estímulo de entrenamiento y un incremento del rendimiento durante el período de recuperación asociado a los mecanismos reguladores del organismo para establecer nuevamente la homeostasis. Obsérvese, sin embargo, que el organismo persigue la homeostasis en un nivel de rendimiento superior al que tenía previamente. Este mecanismo, que determina un predominio de los procesos anabólicos de mayor magnitud que los procesos catabólicos inherentes al estímulo de entrenamiento, se denomina supercompensación. Ésta, considerada como un mecanismo de defensa del organismo, da significado al proceso de entrenamiento al provocar adaptaciones que permiten elevar el rendimiento deportivo. Obsérvese que, si el proceso de supercompensación no es estimulado continuamente, la homeostasis vuelve a los niveles previos a la aplicación del estímulo de entrenamiento. Esto justifica la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento.

Elaborado a partir de las fases descritas para el síndrome general de adaptación por Selye H. Br J Nat 1936;138:32.



FIGURA 2.5. Representación de la ruptura de la homeostasis si aplicamos sucesivamente el mismo estímulo de entrenamiento. Establecida la importancia de la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento, obsérvese que, si el estímulo es de similar magnitud a los establecidos previamente, el desequilibrio de la homeostasis es menor debido a que los sistemas implicados tienen un mayor nivel de rendimiento asociado a la supercompensación de las cargas precedentes. Un menor desequilibrio de la homeostasis provoca una menor respuesta de supercompensación inherente a un estancamiento del nivel de rendimiento.

Original de los autores.

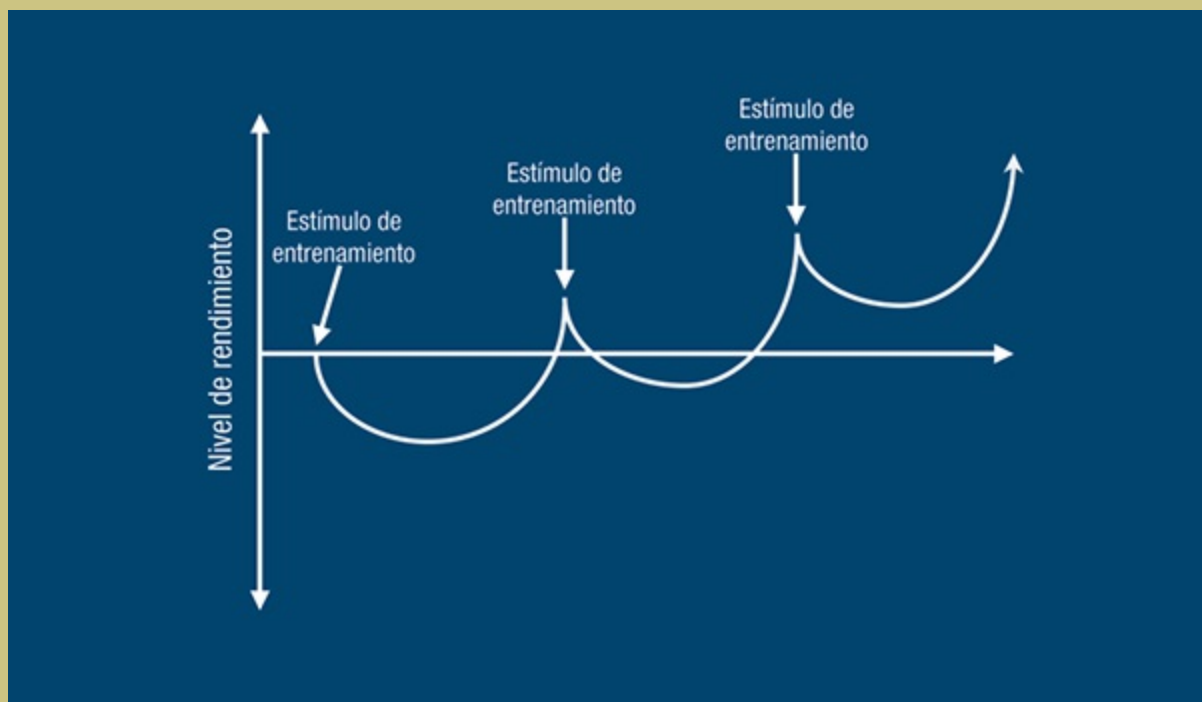


FIGURA 2.6. Adaptación a largo plazo consiguiente al incremento progresivo de la magnitud del estímulo de entrenamiento. Obsérvese que la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento progresivamente de mayor magnitud conduce al proceso de supercompensación, estableciendo la homeostasis en niveles de rendimiento superiores, lo que permite una mejora constante del rendimiento deportivo.

Adaptado de Siff M y Verhoshansky Y. Superentrenamiento. Paidotribo, 2000.

Síntesis

- ▮ La respuesta homeostática del organismo, que conduce a equilibrar los diferentes sistemas después de su alteración como consecuencia de la aplicación de un estímulo de entrenamiento que provoca una situación de fatiga aguda, es el factor que da significado al proceso de entrenamiento deportivo.
- ▮ La respuesta homeostática es de mayor magnitud que el estímulo que ha provocado su alteración, siendo considerada una respuesta adaptativa con el objetivo de que, si el organismo es sometido a un estímulo de entrenamiento semejante, la alteración de la homeostasis sea de menor magnitud. Esto conduce a un nuevo equilibrio de los distintos sistemas

en un nivel de rendimiento superior, la supercompensación, lo que justifica la mejora del rendimiento deportivo asociada al proceso de entrenamiento.

- Para inducir sucesivamente el proceso de supercompensación que conduce a la mejora progresiva del rendimiento deportivo, debemos someter al organismo a estímulos de entrenamiento progresivamente más exigentes que provoquen una alteración de la homeostasis controlada, pero de suficiente magnitud.
- La fatiga aguda provocada por el estímulo de entrenamiento se ha estudiado desde diferentes perspectivas. Desde una perspectiva práctica, es más importante conocer los factores sobre los que debe incidir el estímulo de entrenamiento para mejorar el rendimiento de una determinada modalidad deportiva que conocer los factores reguladores de la fatiga aguda.

Cuestionario de asimilación

1. Indica el proceso fisiológico que determina las adaptaciones que conducen a una mejora del rendimiento deportivo.
2. Indica el principio fundamental que se requiere aplicar en el proceso de entrenamiento para provocar sucesivamente la supercompensación.
3. Establece qué se entiende por fatiga aguda.
4. Indica de qué depende que la fatiga aguda se haya asociado a un “fallo catastrófico” de distintos sistemas.
5. Establece qué propugna el modelo del gobernador central para explicar la fatiga aguda.
6. Establece qué diferencias existen entre los modelos que asocian la fatiga aguda a un “fallo catastrófico” de uno o varios sistemas y el modelo del gobernador central.
7. Indica qué diferencias existen entre explicar la fatiga aguda sobre la base de cualquiera de los modelos que intentan explicar su regulación y sobre la base de los distintos factores que determinan el rendimiento de un determinado esfuerzo.
8. Indica si consideras que el rendimiento en un determinado esfuerzo

puede explicarse por el sistema o sistemas que inducen directamente la fatiga aguda, o si ésta se produce en una determinada duración y/o intensidad del esfuerzo como consecuencia de una interacción compleja de factores de rendimiento.

Estímulo óptimo de entrenamiento

Alejandro Legaz-Arrese, Luis Enrique Carranza García, José Antonio González Jurado

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender la importancia de aplicar en cada momento el mínimo estímulo de entrenamiento que produzca las adaptaciones deseadas.
- Conocer que la identificación del estímulo óptimo de entrenamiento es compleja y debe basarse en la continua supervisión reflexiva del proceso de entrenamiento de cada deportista.
- Disponer de las herramientas necesarias para cuantificar los diferentes estímulos de entrenamiento aplicados a los deportistas.
- Comprender que la magnitud, la recuperación y la progresión de los sucesivos estímulos de entrenamiento deben adecuarse al nivel de adaptación de los deportistas.
- Comprender que las adaptaciones son específicas de la orientación del estímulo de entrenamiento, y, en consecuencia, la importancia de adecuar éste a las características de cada modalidad deportiva.

Índice:

- 2.1. Umbral del estímulo de entrenamiento
- 2.2. Definición del estímulo de entrenamiento: carga externa frente a carga interna
- 2.3. Estímulo de entrenamiento y nivel previo de adaptación
- 2.4. Homeostasis y especificidad del estímulo de entrenamiento
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

Conocidos los mecanismos que justifican la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento, es necesario definir las características que tienen que tener estos estímulos para inducir las adaptaciones deseadas que permitan optimizar el rendimiento deportivo. Con este objetivo se aborda en este apartado las directrices que permiten la correcta cuantificación del estímulo de entrenamiento como principio básico para adecuarlo a las características de los deportistas y de las distintas modalidades deportivas.

2.1. Umbral del estímulo de entrenamiento

Como se ha indicado, para inducir el **proceso de supercompensación** se requiere la aplicación de un **estímulo de entrenamiento óptimo**. El **principio de sobrecarga**, conocido como la Ley de Shultz-Arnord, establece un umbral para el estímulo de entrenamiento. Un estímulo de entrenamiento de magnitud inferior al umbral no induce la suficiente ruptura de la homeostasis necesaria para provocar una respuesta de adaptación. Un estímulo de entrenamiento excesivo puede superar el límite de tolerancia del deportista. La repetición sucesiva de estímulos que superan el límite de tolerancia puede provocar un estado de sobreentrenamiento (figura 2.7).

La determinación del estímulo óptimo de entrenamiento para cada deportista es la tarea más compleja a la que se enfrenta el entrenador. Cada deportista tiene para cada momento y sistema morfofuncional un **umbral de adaptación**, que podemos definir como la capacidad del individuo o desarrollada por el entrenamiento que va a condicionar el grado de intensidad del estímulo necesario para inducir el proceso de supercompensación. La aplicación del mismo estímulo de entrenamiento a deportistas de distinto nivel, o a un mismo deportista en diferentes momentos, determina una ruptura de la homeostasis diferenciada (figura 2.8).

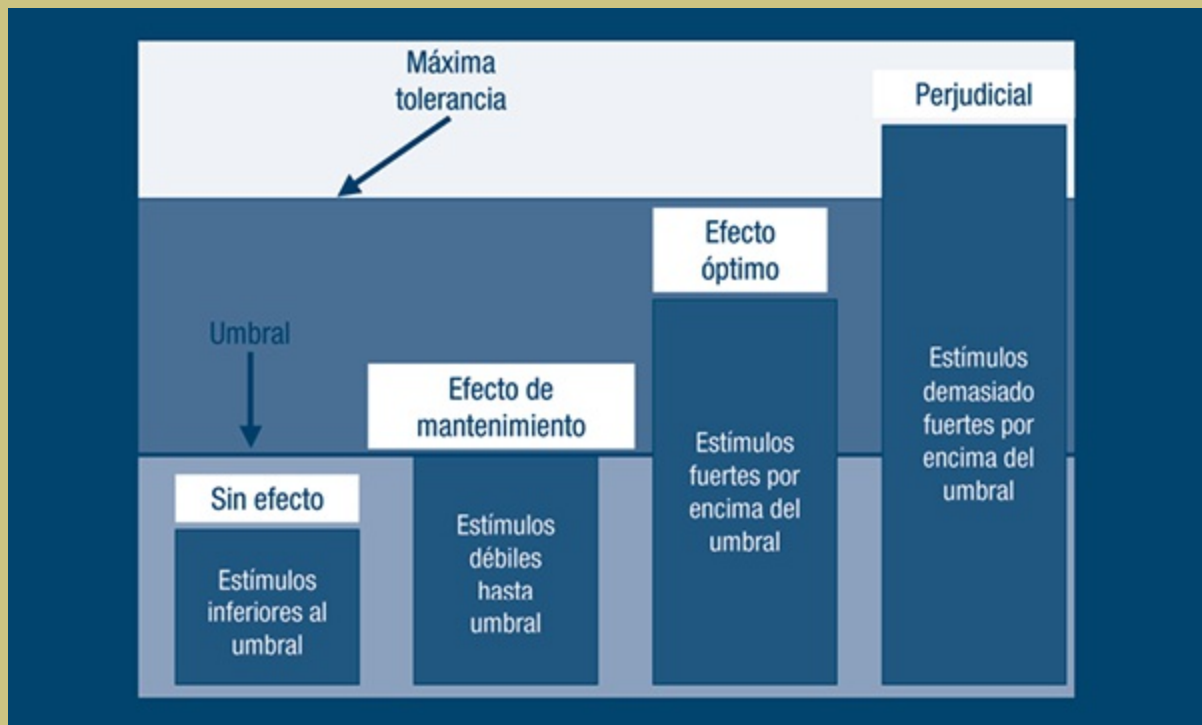


FIGURA 2.7. El umbral del estímulo de entrenamiento: Ley de Shultz-Arnold. Este concepto vuelve a insistir en que, para inducir la supercompensación, el estímulo de entrenamiento debe ser de la magnitud suficiente para provocar una adecuada ruptura de la homeostasis. Obsérvese que se sugiere un umbral en la magnitud del estímulo de entrenamiento que determina sus efectos de adaptación, incluido un efecto perjudicial si éste es muy exigente. Este umbral de adaptación es diferente para cada deportista en función de su potencial genético, y para el mismo deportista en función de su estado de entrenamiento. De aquí la importancia de cuantificar adecuadamente la magnitud del estímulo.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM 1994.

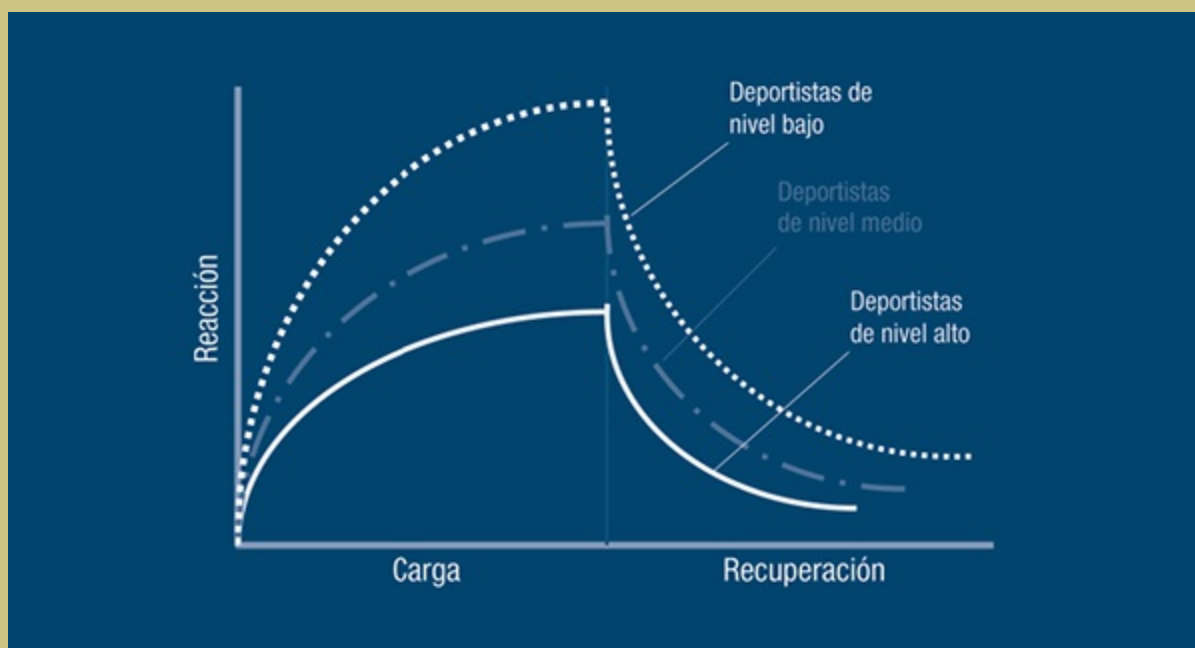


FIGURA 2.8. Efectos del mismo estímulo de entrenamiento aplicado a deportistas de distinto nivel. Obsérvese que, como consecuencia de un umbral de adaptación diferente, deportistas con distinto nivel de rendimiento asociado a su potencial genético y/o estado de entrenamiento tienen diferente ruptura de la homeostasis si se les aplica una magnitud equivalente de estímulo de entrenamiento. Un mismo estímulo de entrenamiento puede ser muy exigente, adecuado o no tener efecto en función de las características del deportista, volviendo a resaltar la necesidad de individualizar constantemente su magnitud.

Adaptado de Platonov VN. El entrenamiento deportivo, teoría y metodología. Paidotribo, 1999.

De esta forma, los primeros pasos de un bebé pueden constituir un estímulo lo suficientemente intenso como para mejorar su fuerza máxima, mientras que lógicamente se requieren estímulos mucho más intensos para desarrollar esta capacidad en una persona adulta sana. Igualmente, desplazarse durante 30 min a $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ puede suponer un estímulo excesivo para un sujeto no entrenado y un estímulo por debajo del umbral para un maratoniano de elite; incluso este mismo estímulo puede ser óptimo para un deportista en un momento concreto y por debajo de su umbral cuando está en óptimo estado de preparación. En este sentido, es requisito fundamental la **definición correcta del estímulo de entrenamiento** aplicado al deportista.

2.2. Definición del estímulo de entrenamiento: carga externa frente a carga interna

Es evidente, en el ejemplo expuesto anteriormente, que la reacción del organismo de dos deportistas que se desplazan durante 30 min a $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ puede ser completamente diferente. Por ejemplo, este estímulo puede determinar una frecuencia cardíaca (FC) de 120 y $160 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente, en un deportista de alto o bajo nivel de rendimiento. Igualmente, el efecto de levantar 80 kg en un ejercicio con sobrecargas puede ser completamente diferente en dos deportistas. De estos ejemplos se deduce que es necesario distinguir entre la carga externa a la que sometemos al deportista y la reacción que implica en diferentes procesos fisiológicos, o carga interna.

La **carga externa** está determinada por la modificación de los **componentes del entrenamiento**, de los que se representan algunos ejemplos. Es la modificación de estos componentes lo que finalmente determina una diferente reacción fisiológica o carga interna.

- Volumen: tiempo, distancia, repeticiones, número de sesiones, porcentaje de tiempo dirigido a diferentes objetivos, etc.
- Intensidad: velocidad, potencia, kilogramos, ritmo de juego, etc.
- Densidad: relación trabajo/pausa entre ejercicios, repeticiones, series y sesiones de entrenamiento.
- Complejidad: grado de dificultad motriz e informacional de los ejercicios.

La cuantificación de la carga externa puede ser útil y debe considerarse en el diario de entrenamiento. Por ejemplo, es especialmente interesante conocer por períodos de entrenamiento el porcentaje de tiempo que se ha dedicado a cada uno de los objetivos de entrenamiento. Sin embargo, los ejemplos expuestos determinan que la carga externa nos ofrece una visión incompleta, y en ocasiones equivocada, del entrenamiento real sometido al deportista. Sólo puede realizarse una correcta dosificación de la carga de entrenamiento conociendo las reacciones psicológicas y fisiológicas del deportista ante una determinada carga externa, en definitiva, conociendo en qué medida se ha producido un desequilibrio de la homeostasis con la aplicación del estímulo de entrenamiento.

La valoración de la **carga interna** implica medir en cada sesión de entrenamiento las **reacciones fisiológicas** asociadas al estímulo de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

entrenamiento (p. ej., FC, VO_2 , concentración de lactato, la respuesta de estimulación nerviosa mediante electromiografía, etc.) y/o medir en el período de recuperación los numerosos parámetros descritos como **indicadores de la recuperación** del deportista en el apartado 3.2 (p. ej., *ratio* testosterona/cortisol). Aunque la determinación de estos parámetros puede proporcionar información útil para determinadas situaciones, en ocasiones su utilidad es escasa para numerosas modalidades deportivas, por ejemplo para los esfuerzos intermitentes (deportes de equipo, de raqueta, de combate, etc.), y la interpretación de los datos debe realizarse con prudencia (p. ej., un mismo valor de FC o de lactato puede asociarse a distintas vías metabólicas).

Una de las soluciones de mayor utilidad práctica utilizada en este manual es identificar la **carga externa relativa**, como por ejemplo el porcentaje de trabajo respecto a la máxima velocidad de desplazamiento sobre una distancia o el control del entrenamiento de fuerza mediante el **porcentaje** de la carga máxima (1RM) (tabla 2.1). Así, para el desarrollo de la fuerza se han establecido diferentes objetivos de entrenamiento en función del porcentaje relativo de carga. De la misma forma, como se identifica en el capítulo 4, trabajar a distintos porcentajes de la máxima velocidad desarrollada en una distancia se ha asociado a una distinta respuesta fisiológica conducente a diversos objetivos de entrenamiento.

Otra solución de gran utilidad en deportes de resistencia es **relacionar la carga externa y la interna**. Por ejemplo, en la figura 2.9 se muestran datos reales de un corredor, identificándose cuatro zonas de trabajo según la relación entre la velocidad, la concentración de lactato, la FC y el VO_2 : (i) zona de trabajo inferior al umbral aeróbico; (ii) zona de trabajo entre el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico; (iii) zona de trabajo entre el umbral anaeróbico y el VO_2 máx., y (iv) zona de trabajo a una intensidad superior al VO_2 máx. (Véanse los conceptos en el capítulo 4.) Así, podemos identificar el entrenamiento que realiza este deportista en cada sesión de entrenamiento mediante la monitorización de la FC o mediante la velocidad de desplazamiento, pudiendo cuantificar las sesiones orientadas al desarrollo de cada una de las zonas de trabajo establecidas.

TABLA 2.1. Cuantificación de la carga interna de forma directa (FC) y mediante carga externa relativa (% 1RM, % MT)

<i>Intensidad</i>	<i>Fuerza (% 1RM)</i>	<i>Resistencia (% MT)</i>	<i>FC</i>
Escasa	30-50%	30-50%	130
Leve	50-70%	50-60%	140
Media	70-80%	60-75%	150
Submáxima	80-90%	75-90%	165
Máxima	90-100%	90-100%	180

MT: mejor tiempo; 1RM: máxima carga levantada en un ejercicio.

Adaptado de Martin D et al. Manual de metodología del entrenamiento. Paidotribo, 2001.

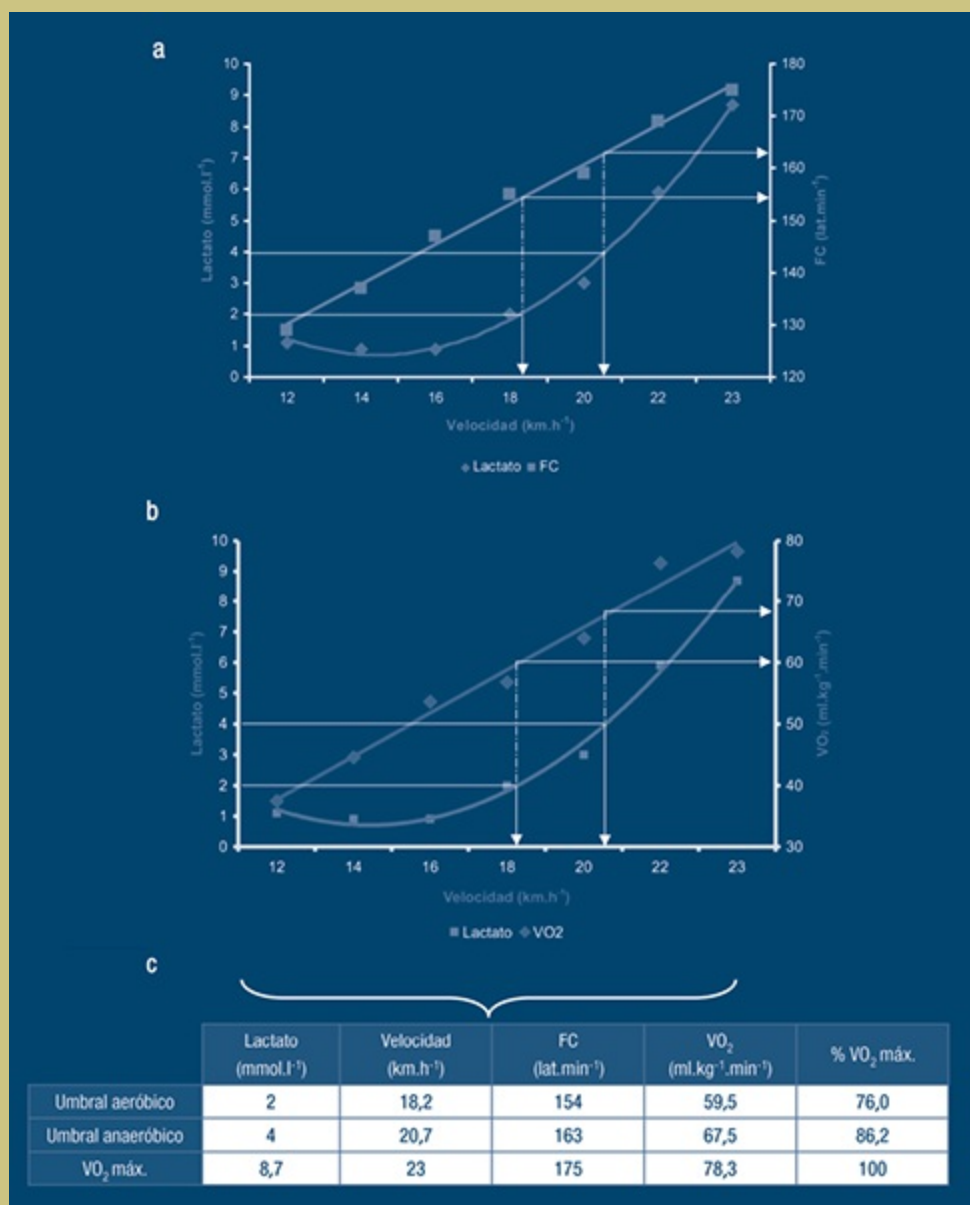


FIGURA 2.9. Determinación en un corredor de las zonas de trabajo asociadas al umbral aeróbico ($2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y anaeróbico ($4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y al VO_2 máx. en relación con la FC (a) y el VO_2 (b), y su cuantificación para la práctica del entrenamiento (c).

Obsérvese que en este ejemplo se relaciona la carga externa (velocidad) con la carga interna que le provoca al deportista (lactato, FC, VO_2). Este tipo de valoración permite, cuando el esfuerzo es continuo, identificar la carga interna del estímulo en cada sesión de entrenamiento mediante el simple control de la velocidad de desplazamiento y/o la FC. Cuando asimiles en el capítulo 4 los conceptos de umbral aeróbico y anaeróbico y de VO_2 máx., podrás comprender la importancia que tiene este análisis para controlar la zona metabólica trabajada en cada sesión de entrenamiento.

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de

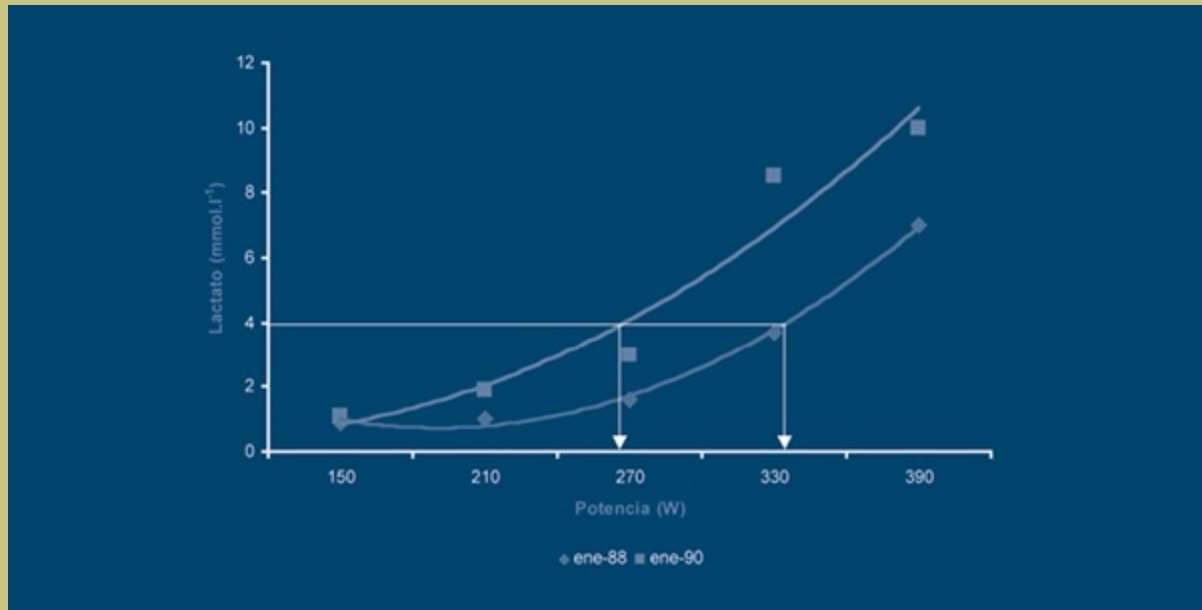


FIGURA 2.10. Determinación de la relación entre la carga externa (potencia) y la interna (umbral anaeróbico) en un ciclista en dos momentos diferentes. Considérese que la relación entre la carga externa y la carga interna va a ser diferente para cada deportista y se va a modificar como consecuencia de la adaptación, especialmente en deportistas con menor experiencia de entrenamiento, por lo que este tipo de análisis debe repetirse sucesivamente. Este ejemplo es ilustrativo de que incluso en un ciclista de nivel internacional se modifica significativamente la relación entre la carga externa (potencia) y la carga interna (lactato).

Original de los autores con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

Como estas variables evolucionan en función del estado de preparación del deportista, es necesario identificar las zonas de intensidad sucesivamente durante el proceso de entrenamiento. Como ejemplo, mostramos en la figura 2.10 datos reales de un ciclista en los que se observa cómo a nivel del umbral anaeróbico ($4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) la potencia desarrollada difiere en dos momentos diferentes de la preparación. La continua valoración para determinar zonas de trabajo es aplicable a otros parámetros, por ejemplo la determinación de 1RM en un ejercicio con sobrecargas.

En los ejemplos anteriores hemos mostrado la diferenciación de zonas de trabajo asociadas a la intensidad de esfuerzo. Esta información continúa

siendo insuficiente para determinar el estímulo de entrenamiento al que ha sido sometido el deportista. No supone el mismo estímulo, por ejemplo, desplazarse a una intensidad correspondiente al umbral anaeróbico durante 30 min ó 2 h. Por ello, distintos autores han realizado propuestas para integrar en un solo término la intensidad y el volumen de entrenamiento. El ejemplo más representativo es el concepto de **impulso de entrenamiento (TRIMP)** propuesto inicialmente por Banister (1991) (figura 2.11).

Posteriormente, Foster *et al.*, (2001) realizaron una nueva propuesta para determinar el TRIMP, integrando, por una parte, el volumen de entrenamiento y, por otra, la intensidad relativa dividida en fases (figura 2.12a). De esta forma, existe un valor diferente según la intensidad relativa de trabajo. Esta nueva metodología es muy adecuada para esfuerzos continuos de intensidad variable. Un claro ejemplo de aplicabilidad es el mostrado por Lucía *et al.*, (2003), quienes determinaron en 7 ciclistas el TRIMP para estimar la “dureza” de la Vuelta a España y del Tour de Francia de los últimos años. Los autores determinaron previamente tres intensidades de trabajo atendiendo a los umbrales ventilatorios (véanse los conceptos en el apartado 2.3 del capítulo 4), fase I ($< \sim 70\% \text{VO}_2 \text{ máx.}$), fase II ($\sim 70\text{--}90\% \text{VO}_2 \text{ máx.}$) y fase III ($> \sim 90\% \text{VO}_2 \text{ máx.}$), y extrapolaron la FC a la resultante posteriormente durante la competición. De esta forma, 1 min en la fase I recibió una puntuación de 1 TRIMP (1 x 1), 1 min en la fase II recibió una puntuación de 2 TRIMP (1 x 2) y 1 min en la fase III recibió una puntuación de 3 TRIMP (1 x 3). La puntuación total del TRIMP en una etapa y en toda la Vuelta se obtiene mediante la suma de la puntuación parcial del TRIMP en estas tres fases.

TRIMP	$A \times B \times C$
$A = \text{tiempo de esfuerzo (min)}$	
$B = [(FC_{\text{esfuerzo}} - FC_{\text{basal}}) / (FC_{\text{máxima}} - FC_{\text{basal}})]$	
$C = 0,64e^{1.928}$	

FIGURA 2.11. El modelo de Banister para cuantificar el impulso de entrenamiento (TRIMP). Obsérvese que el autor propone una sencilla y útil metodología que permite cuantificar la magnitud del estímulo combinando el volumen (tiempo de esfuerzo) y la intensidad (FC). Debido a que una misma FC de esfuerzo no es equivalente a una misma intensidad relativa, el autor establece la relación considerando las variaciones que existen entre sujetos en la FC máxima y la FC basal. Esta aproximación es aplicable a sujetos en quienes no se ha establecido una relación previa entre la carga externa y la carga interna. Para deportistas de elite probablemente es más apropiado relacionar la FC de esfuerzo en función del porcentaje que supone respecto a la FC que delimita las distintas zonas metabólicas (p. ej., umbral aeróbico, umbral anaeróbico y VO_2 máx.).

Adaptado de Banister EW. Modeling elite athletic performance. En: Green HJ et al. Physiological Testing of Elite Athletes. Human Kinetics, 1991.

Con esta metodología los autores demostraron que la reducción del número de kilómetros característico en las últimas ediciones, especialmente en la Vuelta a España, no implica una reducción del estímulo de entrenamiento o la carga de trabajo y, por tanto, del estrés fisiológico del ciclista. Aunque era de esperar un mayor TRIMP en el Tour de Francia que en la Vuelta a España debido a que se caracteriza por un mayor número de kilómetros y, por tanto, un mayor tiempo de esfuerzo (5.552 frente a 5.086 min) y una aparente mayor intensidad (mayor número de etapas de alta montaña: más puertos de 1ª categoría y de categoría especial), no encontraron diferencias significativas en el TRIMP (figura 2.12b). Parece ser que la menor duración de cada etapa en la Vuelta es compensada por un mayor tiempo a intensidades más elevadas de trabajo (figura 2.12c). En el Tour existe una gran diferencia en la carga de trabajo entre las distintas etapas, más de 500 TRIMP en las etapas de alta montaña y muy baja puntuación en las restantes etapas (p. ej., ~350 TRIMP). En contraste, en la Vuelta la mayoría de las etapas, sean llanas o de montaña, tienen una puntuación más equilibrada (p. ej., ~380 TRIMP).

Debemos ser prudentes si queremos utilizar esta metodología en la comparación de esfuerzos completamente diferentes; por ejemplo una maratón daría aproximadamente 300 TRIMP (Lucía *et al.*, 2003), inferior a los valores de una única etapa ciclista, sin embargo, la carga interna fisiológica es mucho mayor durante la maratón. En natación, por ejemplo, es habitual cuantificar el estímulo de entrenamiento mediante el tiempo que en distintas sesiones se trabaja a cinco intensidades asociadas a una determinada concentración de lactato: I1, I2 e I3 representan, respectivamente, las intensidades de nadar a una velocidad correspondiente a 2, 4 y 6 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. I4 corresponde a una intensidad próxima a una concentración de 10 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, e

I5 a la intensidad máxima de trabajo (Hellard *et al.*, 2005; Mujika *et al.*, 1996).

Aunque en el entrenamiento de fuerza es menos habitual integrar el volumen y la intensidad de entrenamiento, algunos autores han cuantificado los minutos activos de ejercicio excluyendo los períodos de recuperación (Hellard *et al.*, 2005). En este sentido, parece más adecuado cuantificar el número de repeticiones ejecutadas a diferentes intervalos de intensidad de carga.

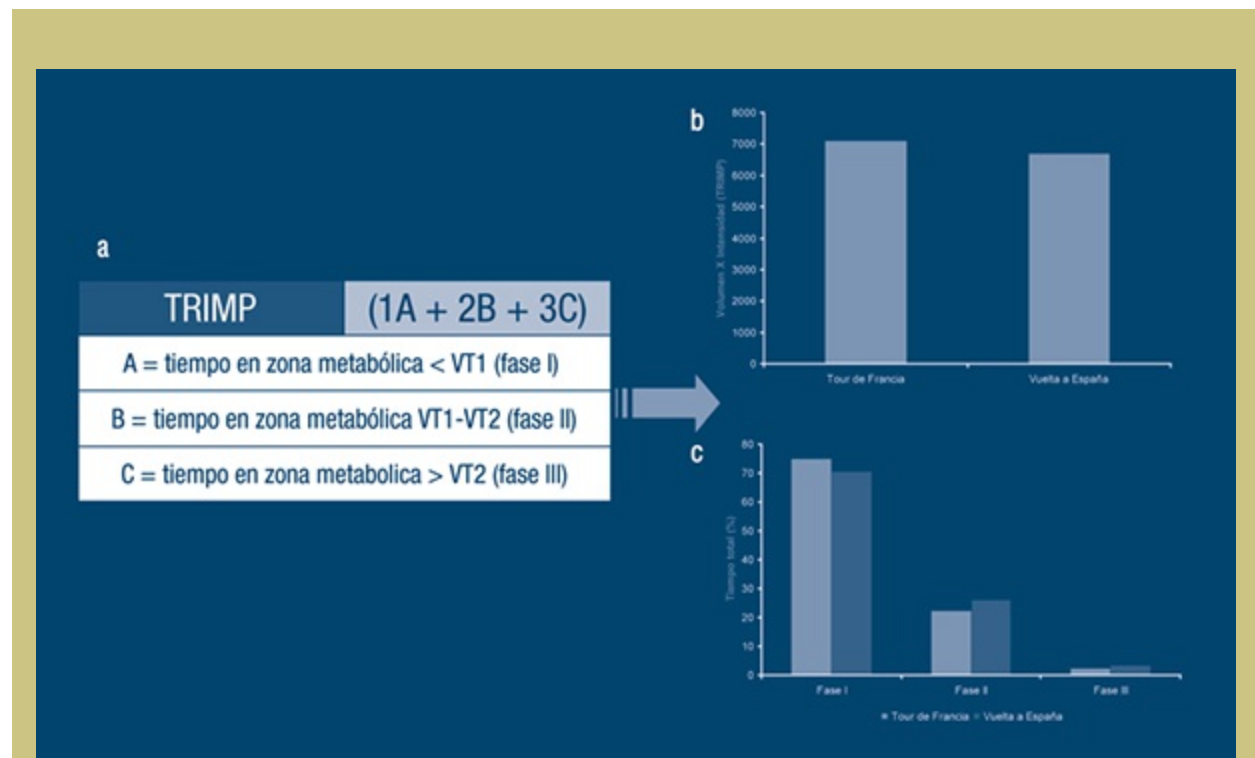


FIGURA 2.12. El modelo de Foster para cuantificar el impulso de entrenamiento (TRIMP) (a) y su aplicación para comparar el estímulo que supone competir en el Tour de Francia y en la Vuelta a España (b) con la medición previa del porcentaje de tiempo que los ciclistas desarrollan en distintas zonas metabólicas (c). Obsérvese que este modelo considera también la combinación del tiempo de esfuerzo y la FC de esfuerzo. Cabe comprobar que el autor corrige las limitaciones de la propuesta de Banister relacionando la FC de esfuerzo con las distintas zonas metabólicas, determinadas en este caso por los umbrales ventilatorios. Como se muestra en el ejemplo, este modelo es especialmente útil para cuantificar la magnitud del estímulo cuando el esfuerzo se realiza a intensidad variable, como en el ciclismo de ruta. Esta metodología también es útil para controlar la magnitud del estímulo en un esfuerzo realizado a intensidad constante. Sin embargo, para este objetivo es probablemente más apropiado relacionar la FC de esfuerzo en función del porcentaje que supone respecto a la FC que delimita las distintas zonas metabólicas (p. ej., umbral aeróbico, umbral anaeróbico y VO_2 máx.). Es fácil comprender que, si la FC asociada, por ejemplo, al umbral aeróbico es de $140 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$, el

valor del TRIMP según esta propuesta es el mismo independientemente de si el deportista realiza el esfuerzo a 110 ó a 130 lat·min⁻¹.

(a) Adaptado de Foster C et al. J Strength Cond Res 2001;15:109-15.(b y c) Adaptado de Lucía A et al. Med Sci Sports Exerc 2003;35:872-8.

Estas metodologías de cuantificar el estímulo de entrenamiento tienen una gran aplicabilidad para numerosas modalidades deportivas, fundamentalmente asociadas a los esfuerzos continuos y acíclicos. Sin embargo, en numerosas modalidades deportivas, como son los esfuerzos intermitentes, carece de sentido cuantificar el estímulo de entrenamiento mediante la aplicación de parámetros como las zonas de trabajo asociadas a los umbrales aeróbico y anaeróbico, e incluso la propia determinación de la FC en el entrenamiento. También existen deportistas que no tienen la posibilidad de determinar sucesivamente estos parámetros. En estos casos se requieren soluciones más prácticas y aplicables a todas las modalidades deportivas. La cuantificación de la carga interna mediante **escalas numéricas** puede ser la solución más adecuada. Estas escalas numéricas están asociadas a la **percepción subjetiva de fatiga** de los propios deportistas o del entrenador. Su utilidad es más evidente cuanto mayor es la experiencia del entrenador y del deportista.

Las escalas numéricas más extendidas para el control de la carga interna mediante la **percepción subjetiva de fatiga del deportista** fueron propuestas por Borg (1982, 1970) y Borg y Borg (2001) (figura 2.13). Las **escalas de Borg** se han relacionado con éxito con numerosos parámetros fisiológicos. Como ejemplo, mostramos en la figura 2.14 la relación de la escala de Borg con la ingesta de hidratos de carbono durante una maratón (Utter *et al.*, 2002). Los deportistas que ingirieron hidratos de carbono consiguieron mantener un mayor %FC máx. en la segunda parte de la prueba (figura 2.14a). Estos deportistas, a pesar de que desarrollaron mayor velocidad, tuvieron una menor percepción subjetiva de fatiga (figura 2.14b). Es interesante que, en un esfuerzo realizado a una determinada intensidad, la percepción de fatiga durante los primeros minutos predice la duración del esfuerzo, y su incremento con la duración se asocia al incremento de la temperatura rectal (Crewe *et al.*, 2008). Los autores consideran que en el período inicial del ejercicio el cerebro recibe información de las condiciones ambientales y de la intensidad del ejercicio y subconscientemente calcula la duración del ejercicio que se puede mantener sin que se produzca una ruptura

peligrosa de la homeostasis.

La escala numérica más extendida para el control de la carga interna mediante la **percepción subjetiva de fatiga del entrenador** fue propuesta por Zatsiorsky (1995). El autor presentó una sencilla **escala de la magnitud del estímulo de entrenamiento** para que el entrenador, a través de su percepción del esfuerzo que han realizado los deportistas, identifique el posible efecto del estímulo de entrenamiento sobre las respuestas de adaptación (figura 2.15). De esta forma, un entrenador con experiencia puede cuantificar cada sesión de entrenamiento y, en consecuencia, todos los períodos de la planificación. Esta escala sencilla es probablemente la forma más práctica de controlar indirectamente la carga interna para la mayoría de las modalidades deportivas, especialmente para aquellas en las que no son útiles otros parámetros.

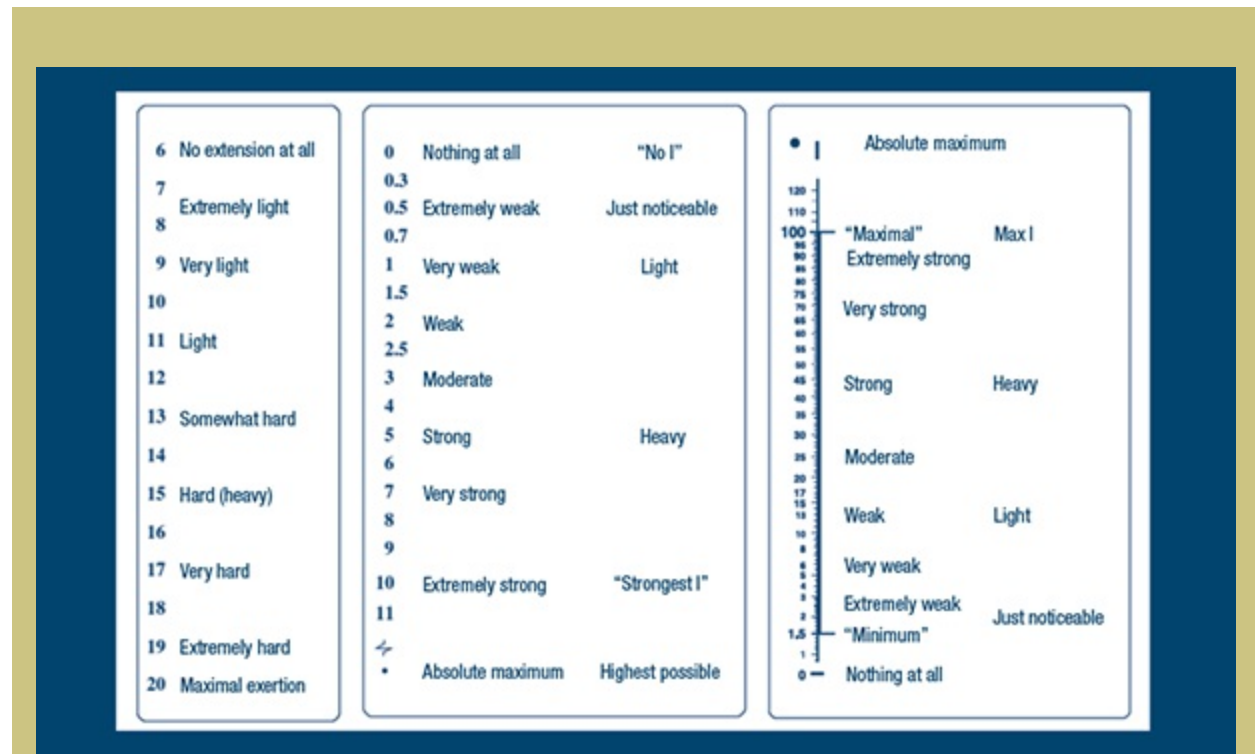


FIGURA 2.13. Cuantificación de la carga interna mediante las escalas numéricas de Borg. Izquierda: Borg RPE scale (Rating of Perceived Exertion). Medio: Borg CR10 scale (Category ratio). Derecha: Borg centiMax scale (CR100). No extension at all = ningún esfuerzo; Extremely light = extremadamente ligero; Very light = muy ligero; Light = ligero; Somewhat hard = algo duro; Hard = duro; Very hard = muy duro; Extremely hard = extremadamente duro; Maximal exertion = máximo esfuerzo; Nothing at all = ningún esfuerzo; Extremely wear = extremadamente débil; Very weak = muy débil; Weak = débil; Moderate = moderado; Strong = fuerte; Very strong

= muy fuerte; **Extremely strong** = extre-madamamente fuerte; **Absolute maximum** = máximo posible. Las escalas de Borg han sido en ocasiones mal adaptadas al castellano. Obsérvese las escalas originales para que se puedan utilizar en los deportistas. Las tres escalas han mostrado ser útiles para cuantificar la carga interna mediante la percepción subjetiva de fatiga. Actualmente está demostrada su validez para cualquier tipo de esfuerzo y es sensible a la combinación de su volumen e intensidad. Véase, por ejemplo, que una misma duración de esfuerzo a una determinada FC puede suponer diferente carga interna en función de numerosos parámetros, como las condiciones ambientales y el estado de recuperación del deportista. Por ello, la percepción subjetiva de fatiga debe complementar otras metodologías de cuantificar el estímulo de entrenamiento.

Reproducido, con permiso, de Borg E y Kaijser L. Scand J Med Sci 2006;16:57-69.

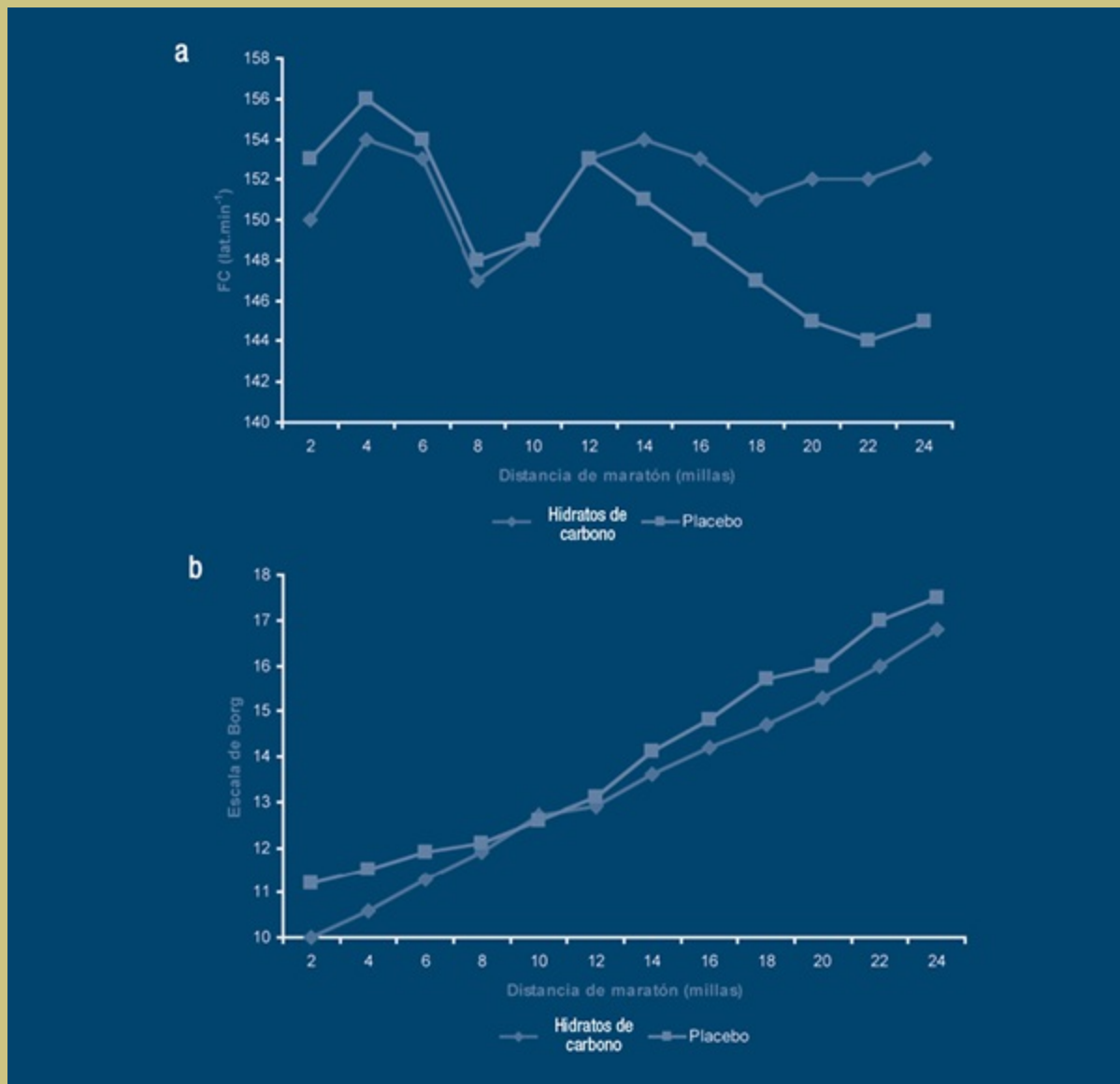


FIGURA 2.14. El efecto de la ingestión de hidratos de carbono o placebo durante una maratón so-bre la FC (a) y la percepción subjetiva de fatiga (b). Numerosos estudios han relacionado satisfactoriamente las escalas de percepción subjetiva de fatiga de Borg con distintos parámetros fisiológicos indicadores de la carga interna (FC, umbral aeróbico y anaeróbico, lactato, temperatura rectal, etc.), evidenciando su validez para cuantificar el estímulo de entrenamiento. Mostramos únicamente un ejemplo en el que se observa cómo, respecto a un grupo de control, los deportistas que en una maratón ingirieron hidratos de carbono muestran menor percepción de fatiga a pesar de que pudieron desarrollar una mayor intensidad de esfuerzo en la segunda parte de la prueba. En el capítulo 4 se muestra la importancia de la ingesta de hidratos de carbono en esfuerzos de larga duración. Mientras que la carga interna realmente pudo ser superior en los deportistas que no ingirieron hidratos de carbono, un análisis exclusivo mediante cualquier parámetro asociado a la FC determinaría lo contrario.

Adaptado de Utter AC et al. Med Sci Sports Exerc 2002;34:1779-84.

En definitiva, la cuantificación del estímulo de entrenamiento es una tarea compleja que requiere su adaptación a cada disciplina deportiva. Sin embargo, es necesario, si queremos conocer los motivos por los que se producen los efectos de adaptación y reorientar el entrenamiento, determinar mediante las metodologías planteadas la cuantificación de diferentes parámetros asociados a la carga externa, a la carga externa relativa y a la carga interna. Así pues, es importante la cuantificación en términos absolutos y relativos del tiempo de trabajo orientado a los diferentes objetivos de entrenamiento, así como de las sesiones orientadas a buscar un proceso de adaptación o de recuperación. La identificación de los objetivos de trabajo puede ser relativamente sencilla para algunas cualidades, pero para otras se requiere una cuantificación al menos indirecta de la carga interna que supone el estímulo de entrenamiento, por ejemplo el %1RM o las distintas zonas metabólicas en los esfuerzos de resistencia. Además, como se resalta en el apartado 3.2, es necesaria la determinación de parámetros asociados al control de la fatiga y de la recuperación del deportista con el fin de identificar además la carga interna de sucesivas sesiones, especialmente en períodos de entrenamiento intenso.



FIGURA 2.15. Cuantificación de la carga interna mediante escala numérica ajustada al efecto del en-trenamiento. Las sesiones de entrenamiento se cuantifican de 1 a 5 en función del nivel de exigencia requerida. Esta metodología requiere una elevada experiencia del entrenador y el conocimiento de las características de cada deportista para que su cuantificación, aunque teóricamente subjetiva, se base en parámetros objetivos. Esta escala permite cuantificar la magnitud del estímulo de sesiones en las que se han desarrollado distintos objetivos de entrenamiento, y de sesiones donde otras metodologías son difícilmente aplicables. De especial interés es que esta propuesta probablemente es la más útil para establecer numéricamente la carga interna a la que ha sido sometido el deportista en diferentes períodos de entrenamiento, como se puede comprobar en el capítulo 8.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM, 1994.

2.3. Estímulo de entrenamiento y nivel previo de adaptación

El conocimiento de los diferentes métodos para cuantificar el estímulo de entrenamiento permite aproximarnos a una mejor definición del programa de entrenamiento que debe ser aplicado a cada deportista, o al menos identificar el objetivo que se está trabajando. En los diferentes capítulos de este manual se establecen criterios de referencia de entrenamiento óptimo para los distintos objetivos de entrenamiento. Estos criterios están definidos por

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

variables asociadas a la carga externa, a la carga externa relativa y a la carga interna. Sin embargo, identificar el entrenamiento óptimo que requiere cada deportista en un momento determinado es una tarea imposible. Únicamente el entrenador, con la determinación de parámetros objetivos y subjetivos, puede saber en la realidad práctica del entrenamiento si el estímulo es el adecuado para obtener la respuesta de adaptación deseada. En este sentido, se requiere, además del control de las variables que definen el estímulo de entrenamiento y de las que determinan el nivel de fatiga del deportista, la comprobación del grado de adaptación obtenido en el proceso de entrenamiento mediante la aplicación de diferentes tests. Los tests de mayor utilidad para determinar el efecto del entrenamiento y para reorientar el proceso de entrenamiento se exponen en los distintos capítulos.

A pesar de la incertidumbre en la definición del estímulo óptimo de entrenamiento, es posible identificar unos principios básicos. La regla que debe perseguir el entrenador es la **aplicación en cada momento del mínimo estímulo que produce adaptación**. La aplicación de un estímulo de entrenamiento de magnitud superior, además de poder inducir un proceso de fatiga crónica, limita la respuesta de adaptación a largo plazo de los deportistas. Por ejemplo, en un deportista de 18-20 años, no experimentado en el entrenamiento de fuerza, una intensidad relativa del 85-95% de 1RM supone la aplicación de la máxima intensidad posible cuando todavía le quedan muchos años de entrenamiento; por tanto, estamos solicitando su máximo nivel de respuesta de adaptación. Así pues, es difícil que esa misma intensidad le permita obtener una adaptación óptima cuando tenga 25-27 años. Por este motivo, aunque en las referencias que se establecen habitualmente en los manuales de entrenamiento se considera que para mejorar la fuerza máxima se requiere una intensidad del 85-100% de 1RM, ésta debe adecuarse al nivel de adaptación del deportista. Como se especifica en el capítulo 3, en deportistas no experimentados una intensidad del 70% de 1RM permite, además de obtener un nivel adecuado de adaptación, mantener un amplio margen de intensidad relativa a desarrollar en el proceso de entrenamiento a largo plazo. Igualmente, en un deportista de 30 años con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza, la intensidad de entrenamiento debe ser relativamente baja.

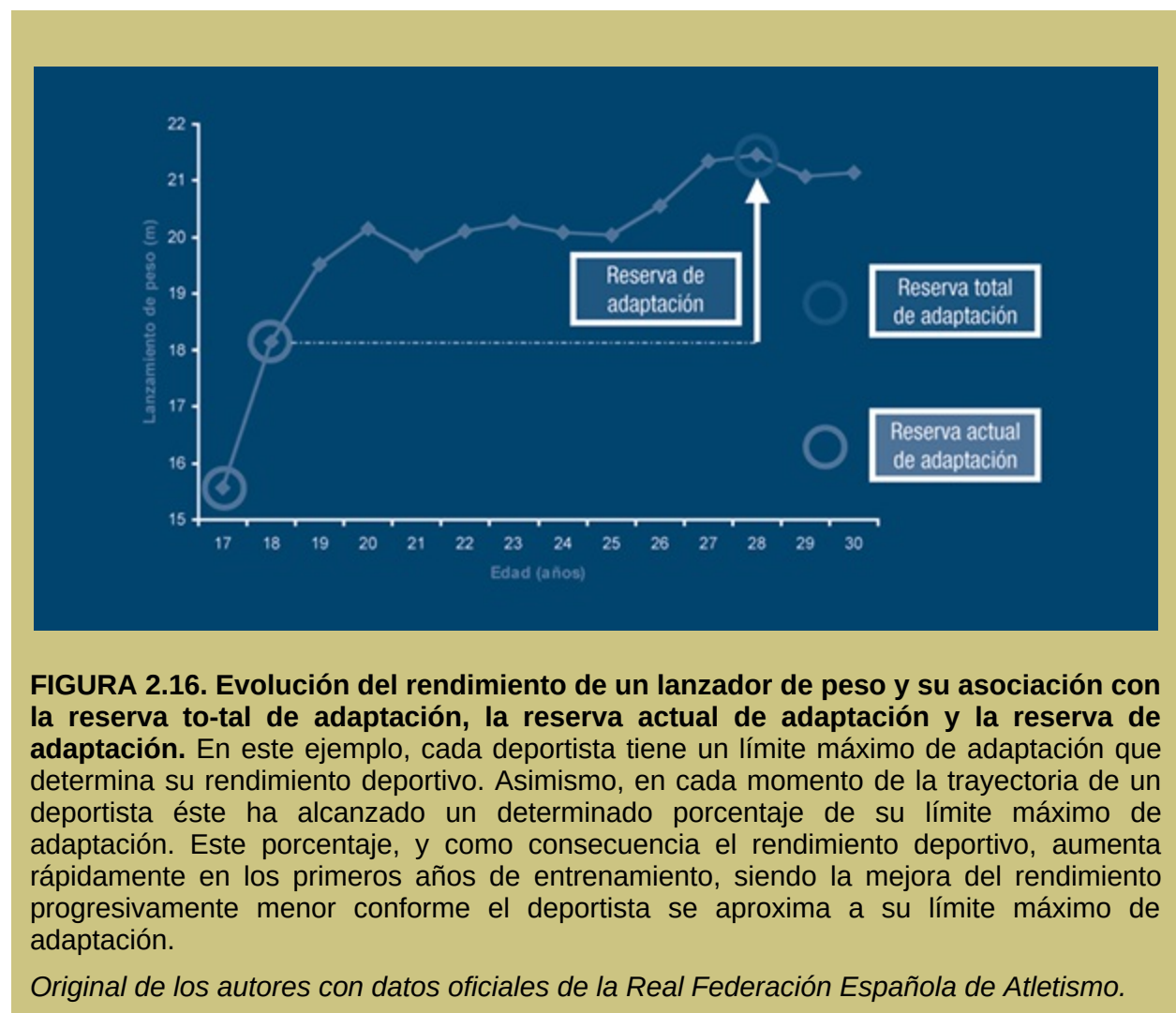
Esta reflexión establece que el **nivel óptimo del estímulo** de entrenamiento está asociado al **nivel previo de adaptación** de los deportistas. La comprensión de varios conceptos establecidos por Navarro (1994) nos

puede servir de ayuda para una mejor definición del estímulo óptimo de entrenamiento. En la figura 2.16 se establece la evolución del rendimiento de un lanzador de peso durante varios años, asociado a los conceptos de reserva total de adaptación, reserva actual de adaptación y reserva de adaptación.

Podemos definir la **reserva total de adaptación** como el límite máximo de adaptación y rendimiento de un sujeto y/o sistema. Cada persona tiene un **límite máximo de adaptación**, diferente para cada capacidad, sistema morfofuncional o modalidad deportiva; tiene un límite máximo del tamaño del corazón, del VO_2 máx., de su carga máxima en un ejercicio, etc. Este límite está determinado genéticamente y sólo puede ser alterado mediante dopaje. Además, únicamente es posible alcanzar la reserva total de adaptación si durante la trayectoria del deportista se ha realizado el entrenamiento óptimo para la capacidad, el sistema o la modalidad deportiva deseados. En este sentido, una persona que no ha entrenado adecuadamente en la etapa evolutiva nunca alcanzará en la edad adulta su reserva total de adaptación. En el ejemplo expuesto hemos establecido que el máximo nivel de rendimiento obtenido en lanzamiento de peso es la reserva total de adaptación de este deportista para esta acción motriz. Lógicamente, ni el nivel de la reserva total de adaptación ni el momento en que se alcanza pueden ser previstos. De hecho, uno de los objetivos de la detección de talentos deportivos es la previsión de que, en una determinada modalidad deportiva, un deportista pueda tener una reserva total de adaptación que le permita obtener resultados al máximo nivel de rendimiento. Lógicamente, cuando un deportista se aproxima progresivamente a resultados de nivel internacional, podemos intuir que está próximo a agotar su reserva total de adaptación. Esto puede determinarse también cuando se observa durante 2-3 años un estancamiento de la evolución del rendimiento deportivo. El momento en que se alcanza la reserva total de adaptación también puede intuirse por la edad en la que se obtiene el máximo rendimiento deportivo en las diferentes modalidades deportivas. Esto se debe a que el máximo grado de adaptación difiere entre los distintos sistemas.

Se entiende por **reserva actual de adaptación** el grado de movilización de la reserva total de adaptación, y nos define el **nivel de rendimiento o de adaptación de un sistema en cada momento**. La reserva actual se va modificando con el proceso de entrenamiento deportivo mediante los mecanismos de adaptación, aproximándose progresivamente a la reserva total del deportista. La **reserva de adaptación** determina las posibilidades que en

un momento determinado todavía tiene un deportista de obtener una respuesta de adaptación al estímulo de entrenamiento, y le capacita hacia un nuevo nivel de rendimiento. La reserva de adaptación en cada momento está determinada por la **diferencia entre la reserva total de adaptación y la reserva actual de adaptación**. En el ejemplo expuesto, para una reserva total de adaptación equivalente a un lanzamiento de 21,47 m a la edad de 28 años, como la reserva actual a los 18 años fue 18,14 m, la respuesta de adaptación y por tanto susceptible de mejora con el entrenamiento era 3,33 m. En cambio, como a la edad de 25 años el lanzamiento fue 20,04 m, su reserva de adaptación era únicamente 1,43 m.



Este ejemplo de la evolución del rendimiento de un lanzador de peso se objetiva en cualquier modalidad deportiva y deportista en los que sea factible

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

medir el rendimiento. De este análisis se puede deducir que en los primeros años de entrenamiento, cuando la **reserva actual** es **baja**, la **respuesta de adaptación** es **elevada**; en cambio, cuando debido al entrenamiento la **reserva actual** es **elevada**, la **respuesta de adaptación** es **baja** e incluso no hay mejora del rendimiento. Aunque no disponemos de datos del entrenamiento de este deportista, es de suponer que el estímulo de entrenamiento realizado en los primeros años de su trayectoria deportiva era de una magnitud considerablemente inferior al estímulo realizado cuando el deportista estaba próximo a su reserva total de adaptación. En consecuencia, como se representa en la figura 2.17, cuando la reserva de adaptación sea mayor, se obtendrá una respuesta de adaptación óptima con un menor estímulo de entrenamiento; en cambio, cuando progresivamente la reserva actual de adaptación se aproxime a la reserva total, será necesario aplicar un estímulo de entrenamiento superior para obtener un menor nivel de adaptación e incluso para únicamente mantener el nivel de rendimiento. Esto determina una progresión del estímulo de entrenamiento aplicado en el proceso de entrenamiento a largo plazo de la trayectoria de un deportista.

La relación entre la **reserva actual de adaptación** y el **grado de adaptación** se ha documentado en numerosos estudios científicos. Como ejemplo, en la figura 2.18 se muestra cómo el incremento de los niveles de fuerza máxima durante varias semanas de entrenamiento es muy superior en sujetos no entrenados que en deportistas con experiencia en el entrenamiento de fuerza (Häkkinen, 1985). Incluso se ha observado en sujetos no entrenados que en un programa de 24 semanas el incremento de fuerza y de hipertrofia muscular es de una magnitud superior en las primeras 12 semanas (Kraemer *et al.*, 2004) (figura 2.19).

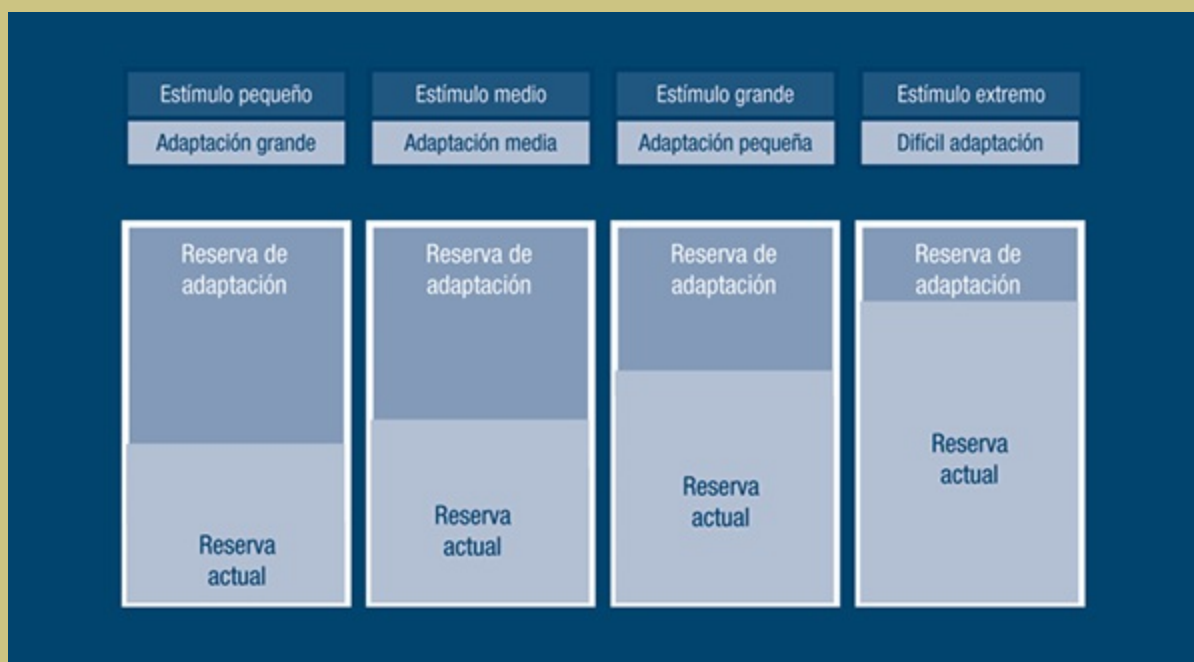


FIGURA 2.17. Representación de la relación entre la magnitud del estímulo de entrenamiento y la adaptación en función de la reserva de adaptación. Se resalta en esta figura que, cuando las posibilidades de adaptación de un deportista son muy elevadas, una magnitud del estímulo de entrenamiento relativamente baja produce efectos de adaptación importantes y, por consiguiente, un elevado incremento del rendimiento deportivo. En cambio, cuando progresivamente se reduce la reserva de adaptación, como el deportista está más próximo a su límite máximo de adaptación, son necesarios estímulos de entrenamiento muy exigentes para producir adaptaciones menores y, por tanto, un menor aumento del rendimiento. Este análisis es fundamental para comprender la evolución del rendimiento de un deportista y para adecuar la magnitud del estímulo en cada momento de su trayectoria deportiva.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM, 1994.

El efecto diferencial de adaptación también se ha evidenciado durante largos períodos de entrenamiento en deportistas de nivel nacional e internacional con distintos niveles de rendimiento y/o edad. Un claro ejemplo se representa en las figuras 2.20 y 2.21, donde se observa la diferencia de evolución después de 4 años de entrenamiento de los valores de 1RM en prensa de pecho y de la curva de potencia en prensa de pecho lanzada entre jugadores de elite y subelite pertenecientes a una selección de rugby de máximo nivel internacional (véanse los conceptos en el capítulo 3). A pesar del alto nivel de todos los jugadores se observa que los clasificados como

subelite, atendiendo a su menor nivel previo de entrenamiento sistematizado de fuerza, obtienen una ganancia en 1RM (24 vs 6%) y en potencia (25 vs 5%) muy superior a la observada en jugadores más experimentados (Baker y Newton, 2006). En corredores de ambos sexos de nivel nacional e internacional que compiten en carreras de media y larga distancia, Legaz-Arrese *et al.*, (2005) observaron que después de 3 años de intenso entrenamiento no mejoró el rendimiento (-0,04%) ni el VO_2 máx. ($-0,97 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). En este estudio se observó que la mejora del rendimiento estuvo asociada únicamente a la edad de los corredores. En otro estudio similar con 41 corredores, Legaz-Arrese *et al.*, (2006) observaron que después de 3 años de entrenamiento intenso 30 corredores incrementaron el rendimiento (3,69%) y el diámetro diastólico del ventrículo izquierdo (3,50 mm), mientras que 11 corredores disminuyeron su rendimiento (-1,7%) sin observarse cambios del diámetro diastólico del ventrículo izquierdo. La mejora del rendimiento y del tamaño del ventrículo izquierdo estuvo asociada al nivel de rendimiento inicial de los deportistas y a su edad.

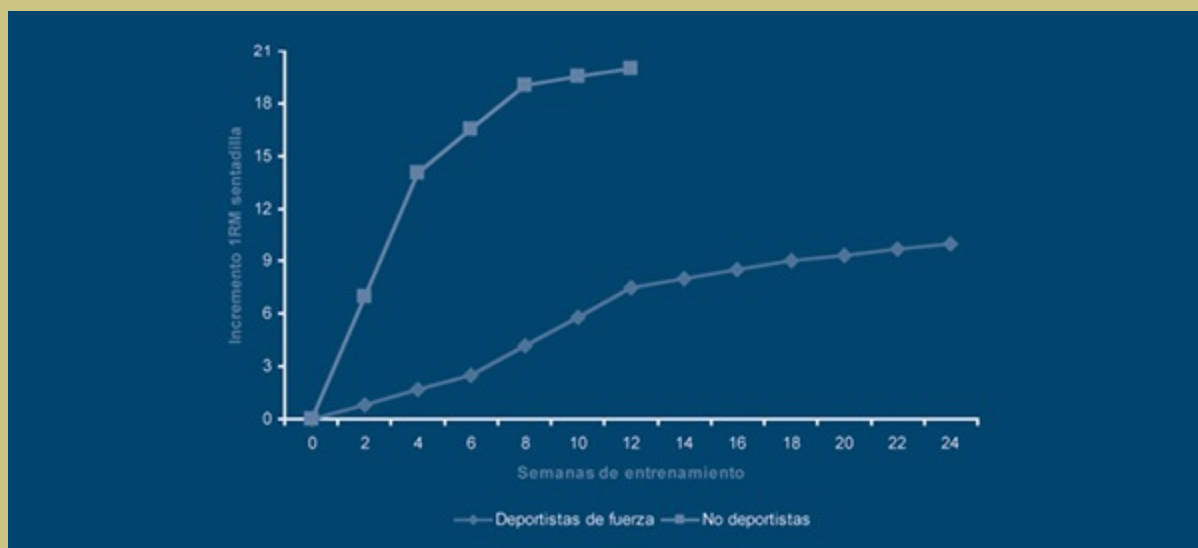


FIGURA 2.18. Diferencias en el incremento de 1RM entre deportistas y no deportistas después de 24 semanas de entrenamiento. Numerosos ejemplos de rendimiento de los deportistas y de estudios científicos demuestran la relación entre la reserva actual del deportista y el efecto de adaptación inducido por el estímulo de entrenamiento. En este ejemplo, el incremento de fuerza asociado a un programa de entrenamiento fue muy superior en sujetos no entrenados, caracterizados por baja reserva actual, respecto a sujetos entrenados, caracterizados por elevada reserva actual. También en ambos grupos el incremento de fuerza fue significativamente superior en las primeras

semanas de entrenamiento debido a una reserva actual progresivamente mayor.
Adaptado de Häkkinen K et al. Acta Physiol Scand 1985;125:573-85.

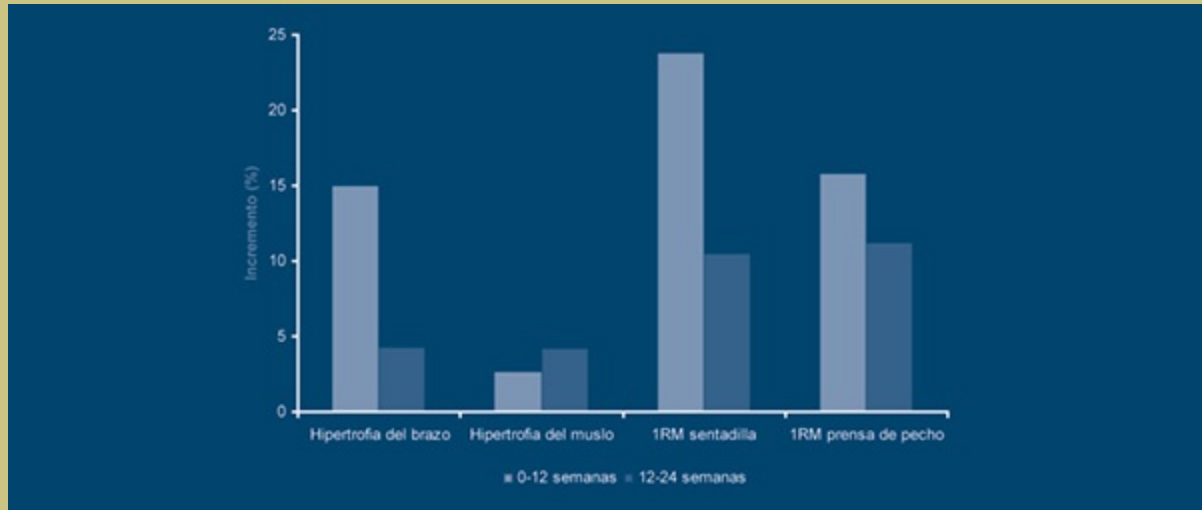


FIGURA 2.19. Respuesta de adaptación de 1RM e hipertrofia durante un programa de 24 semanas aplicado a mujeres no entrenadas. Este ejemplo nuevamente resalta la relación entre la reserva actual y el efecto de adaptación. En las mujeres no entrenadas, el efecto de adaptación fue globalmente muy superior en las primeras semanas de entrenamiento. El efecto de adaptación también fue dependiente de otros factores, como, por ejemplo, en este caso, de los grupos musculares implicados y del efecto de adaptación medido (hipertrofia, 1RM). Obsérvese que hay sistemas que son más o menos susceptibles al efecto del entrenamiento. Por ejemplo, mientras que el valor de 1RM o el umbral anaeróbico es fácilmente modificable con el entrenamiento, incluso en deportistas con elevada reserva actual, es difícil inducir en estos deportistas adaptaciones del VO_2 máx.

Elaborado con datos de Kraemer WJ et al. Med Sci Sports Exerc 2004;36:697-708.

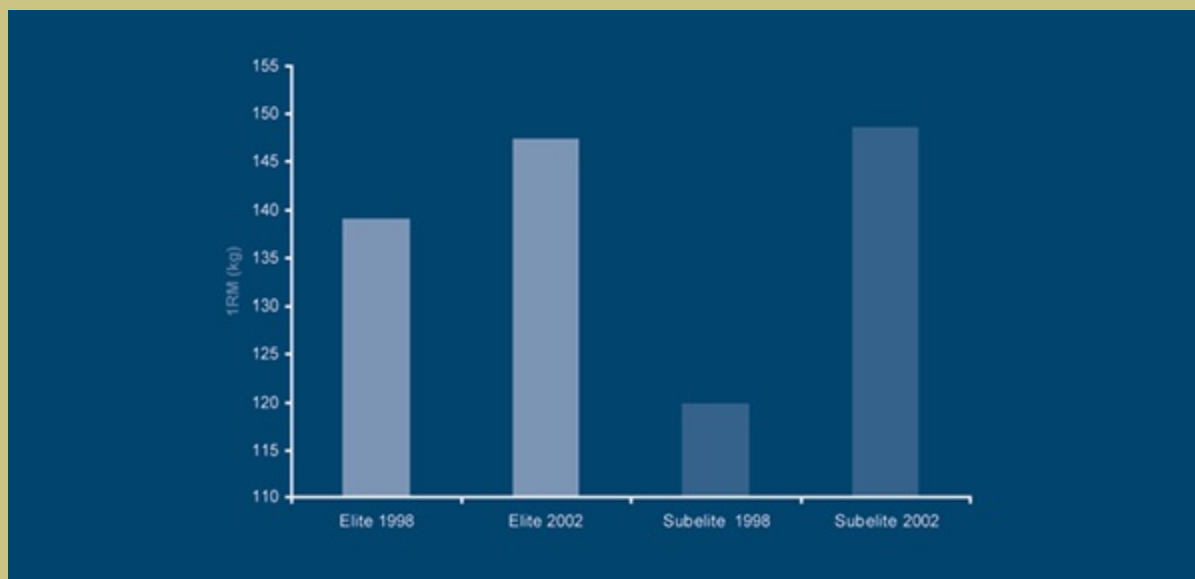


FIGURA 2.20. Cambios de 1RM en prensa de pecho en jugadores de rugby de elite y subelite en un período de 4 años. Obsérvese nuevamente la relación entre la reserva actual de adaptación y el efecto del estímulo de entrenamiento. Este ejemplo considera sólo a deportistas de elite, estableciendo como subelite a los deportistas más jóvenes caracterizados por una menor experiencia en el entrenamiento de fuerza. Ambos grupos mejoran el valor de 1RM, pero este incremento es muy superior en los deportistas de subelite que alcanzan valores equiparables a los deportistas de elite.

Elaborado con datos de Baker DG y Newton RU. J Strength Cond Res 2006;20:541-6.

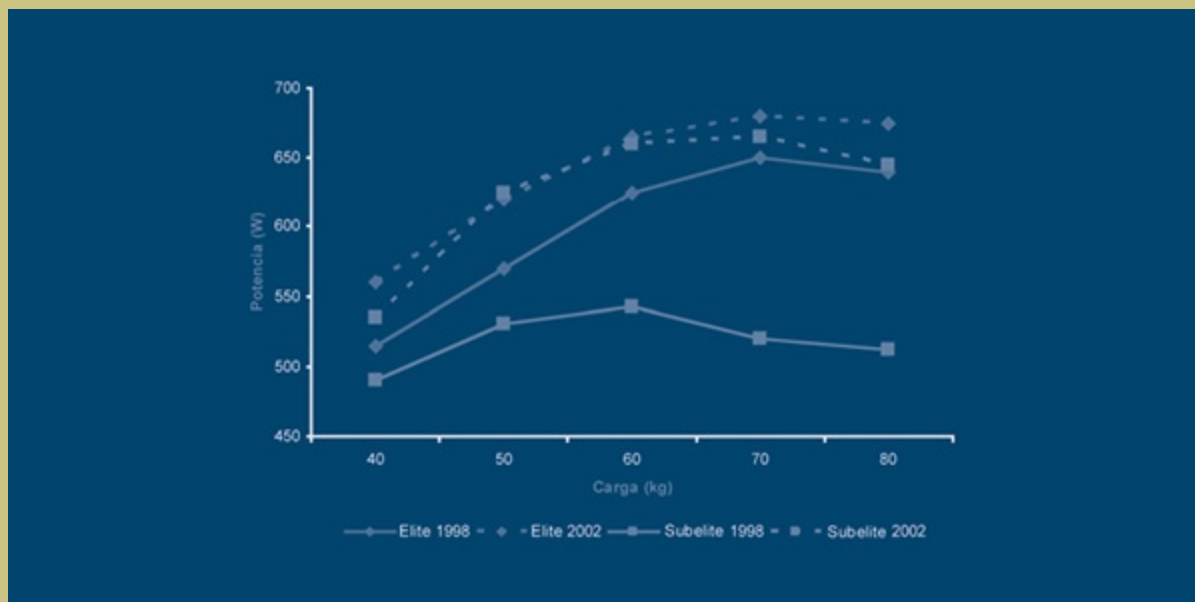


FIGURA 2.21. Cambios de la curva de potencia en prensa de pecho lanzada en jugadores de rugby de elite y subelite en un período de 4 años. Este ejemplo considera a los mismos deportistas que en la figura anterior mediante la valoración de la potencia desarrollada con distintos niveles de carga. Nuevamente, ambos grupos mejoran significativamente la potencia desarrollada, pero esta mejora es mucho más elevada en los deportistas de subelite, especialmente cuando se consideran las cargas más elevadas debido probablemente a que el entrenamiento que habían realizado inicialmente no acentuaba el trabajo con este nivel de carga.

Adaptado de Baker DG y Newton RU. J Strength Cond Res 2006;20:541-6.

La relación entre la reserva actual de los deportistas y la respuesta de adaptación a estímulos diferentes también se ha demostrado en el entrenamiento de fuerza. Como se especifica en el capítulo 3, sujetos menos entrenados requieren menos intensidad y volumen de entrenamiento para obtener la mayor respuesta de adaptación. En cambio, sujetos más entrenados obtienen su mejor respuesta de adaptación con un mayor estímulo de entrenamiento.

Con el objetivo de realizar una adecuada progresión del estímulo de entrenamiento durante la trayectoria de los deportistas se han establecido diferentes directrices. De forma general, se establece que previamente a un incremento de la intensidad hay que aumentar en la medida de lo posible el volumen, especialmente asociado a una mayor frecuencia de sesiones de entrenamiento a la semana. Sin embargo, en numerosas ocasiones se requiere un incremento simultáneo del volumen e intensidad de entrenamiento debido a que la modificación de estos parámetros está asociada a objetivos diferentes.

Es de interés que distintos teóricos del entrenamiento han establecido diferentes **modelos de progresión en la aplicación del estímulo de entrenamiento** en función de la reserva actual de los deportistas. Así, siguiendo el principio del mínimo estímulo que produzca adaptación, en las figuras 2.22 y 2.23 se realiza una adaptación de los dos principales modelos de aplicación del estímulo de entrenamiento propuestos por Navarro (1994) respectivamente para deportistas con baja y elevada reserva actual de adaptación.

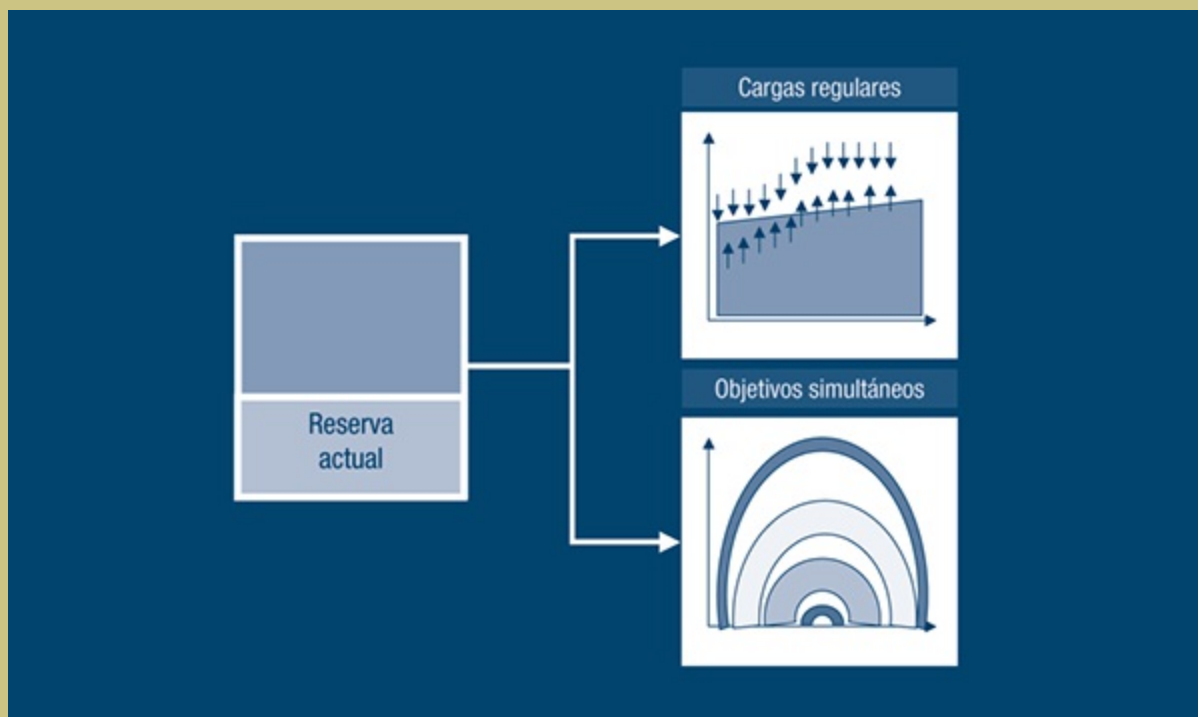


FIGURA 2.22. Modelo general de aplicación del estímulo de entrenamiento en deportistas con una reserva actual de adaptación baja. Obsérvese que se destacan las características que en el proceso de entrenamiento de deportistas con una reserva actual baja debe tener el estímulo de entrenamiento. En estos deportistas se considera un modelo de cargas regulares caracterizado por dejar el tiempo de recuperación suficiente para inducir la supercompensación inherente a la fatiga provocada por cada estímulo de entrenamiento. Así, el incremento progresivo de la magnitud del estímulo es la estrategia utilizada para una mejora progresiva del rendimiento. Además, en estos deportistas el estímulo de entrenamiento está orientado simultáneamente al desarrollo de distintos objetivos, cuya proporción de trabajo varía en función del momento de la temporada. Esta distribución del estímulo en diferentes objetivos permite que el nivel de exigencia no sea excesivamente elevado para ningún sistema.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM, 1994.

En **deportistas con baja reserva actual** de adaptación la aplicación de **cargas regulares** se refiere a una elevación progresiva del estímulo de entrenamiento, asociándose a sesiones de entrenamiento con suficiente período de recuperación que permite la **continua supercompensación** de los sistemas implicados. Además, en los diferentes períodos de planificación, aunque con distinta proporción de tiempo en función del calendario de competición, se incide en el desarrollo simultáneo de los distintos objetivos

de entrenamiento. La elevación progresiva durante varios años del estímulo de entrenamiento determina que finalmente sea complicado incrementar en mayor medida la magnitud del estímulo, por ejemplo el volumen y la intensidad.

Finalmente, la repetición continua de un estímulo de entrenamiento con volumen e intensidad en el límite máximo únicamente permite mantener el nivel de rendimiento. Por ello, en **deportistas con elevada reserva actual** de adaptación se requiere una distribución de la carga diferente para introducir un estímulo novedoso de entrenamiento que suponga al organismo la suficiente ruptura de la homeostasis conducente a un nuevo nivel de supercompensación. En este sentido, la aplicación de **cargas concentradas** se refiere a la alternancia de períodos de entrenamiento con un estímulo de entrenamiento muy intenso sin permitir la recuperación del deportista de la carga precedente con el fin de incrementar progresivamente la ruptura de la homeostasis a niveles no alcanzados previamente en el proceso de entrenamiento, y de períodos de recuperación suficiente para que el organismo reaccione ante el desequilibrio de la homeostasis con un nuevo nivel de supercompensación. Si se alarga excesivamente el período de aplicación del estímulo intenso sin recuperación suficiente, podemos conducir al deportista hacia el comienzo de un estado de sobreentrenamiento. La aplicación del estímulo de entrenamiento mediante cargas concentradas se asocia a lo que se conoce como una **supercompensación de efecto acumulado** (figura 2.24). En este caso, si se distribuye el tiempo de entrenamiento entre numerosos objetivos, el estímulo orientado a cada estímulo no tiene la magnitud suficiente para inducir adaptación en deportistas con elevada reserva actual de adaptación. Por eso, en los distintos períodos de planificación se suceden los objetivos de entrenamiento, aplicando en cada período la concentración de carga en 1 ó 2 objetivos principales. En la figura 2.25 se muestran claramente las diferencias en el proceso de supercompensación entre un grupo de deportistas que realizaron un período de entrenamiento con cargas regulares y otro grupo que fue sometido a cargas concentradas (Coutts *et al.*, 2007). Puede observarse un incremento continuo del rendimiento en los sujetos sometidos a cargas regulares, y una disminución, en los deportistas sometidos a cargas concentradas. En estos deportistas se observa un incremento del rendimiento significativo después de un período de taper (reducción significativa del volumen de entrenamiento manteniendo el nivel de intensidad) de 2 semanas.

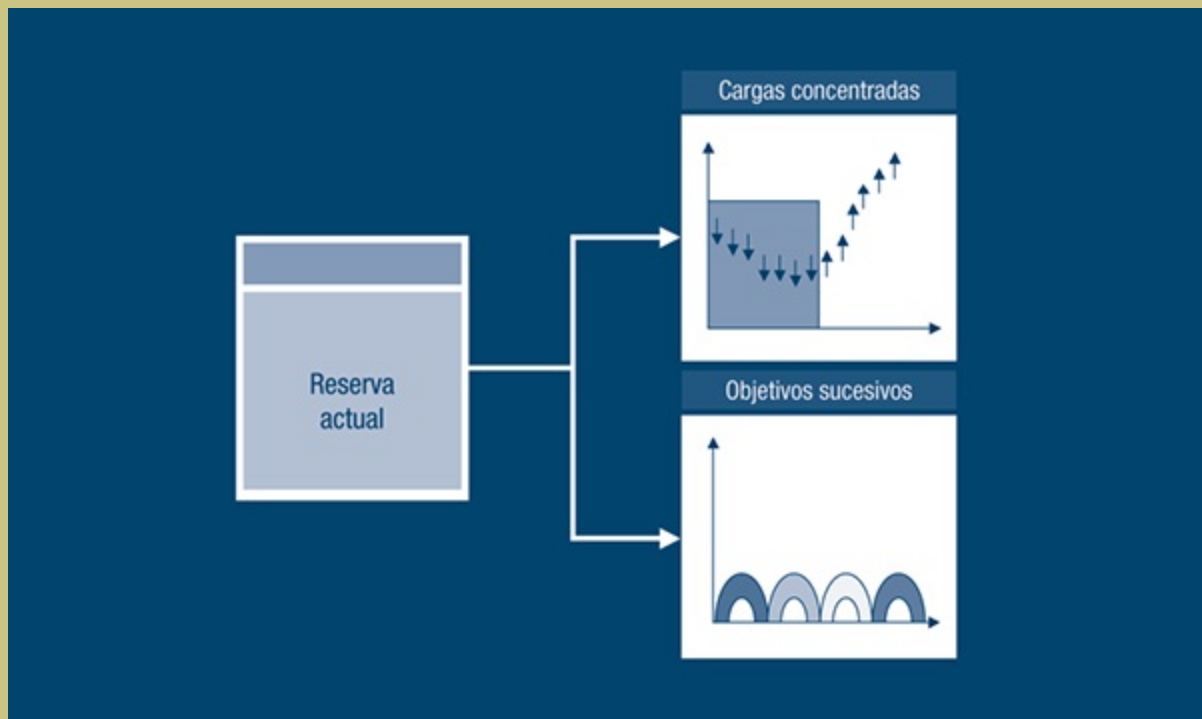


FIGURA 2.23. Modelo general de aplicación del estímulo de entrenamiento en deportistas con una reserva actual de adaptación alta. Osérvese que se destacan las características que en el proceso de entrenamiento de deportistas con una reserva actual elevada debe tener el estímulo de entrenamiento. En estos deportistas, en los que es difícil seguir incrementando la magnitud del estímulo, se considera un modelo de cargas concentradas, que, como cabe observar, se caracteriza por la aplicación de estímulos exigentes sin que el período de recuperación permita la sucesiva supercompensación, induciendo una ruptura de la homeostasis cada vez de mayor magnitud. Esta estrategia debe ir seguida por un período de recuperación que permita la posterior supercompensación. Obsérvese también que, para conseguir que en un determinado sistema la ruptura de la homeostasis sea de una magnitud suficiente y para permitir su posterior recuperación sin interrumpir el proceso de entrenamiento, es necesario que el estímulo esté focalizado simultáneamente en pocos objetivos de entrenamiento.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM, 1994.

2.4. Homeostasis y especificidad del estímulo de entrenamiento

En sujetos altamente desentrenados, un determinado estímulo de entrenamiento puede provocar una ruptura de la homeostasis que afecte la globalidad de los sistemas morfofuncionales y producir en consecuencia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

mejoras de la mayoría de las capacidades físicas. Por ejemplo, la carrera continua puede conducir a mejorar, además de la resistencia aeróbica, parámetros asociados a la máxima velocidad de desplazamiento y a un incremento de la fuerza máxima. Sin embargo, en deportistas sometidos a un proceso de entrenamiento continuado, el desequilibrio es específico del sistema morfológico y funcional al que va orientado el estímulo de entrenamiento, y, por tanto, la adaptación y la mejora de la prestación son específicas para estos sistemas. Así, la adaptación va a ser específica para los grupos musculares implicados en el entrenamiento, el metabolismo solicitado, la motricidad y el medio competitivo. Por ejemplo, un elevado desarrollo de la capacidad cardiorrespiratoria en bicicleta no va a ser transferida a otras acciones motrices como nadar, correr, remar, o a los diferentes deportes intermitentes. La necesidad de realizar un entrenamiento específico es todavía más relevante cuanto mayor es el nivel de los deportistas. En este manual, el lector puede encontrar numerosos ejemplos de la especificidad de la adaptación.

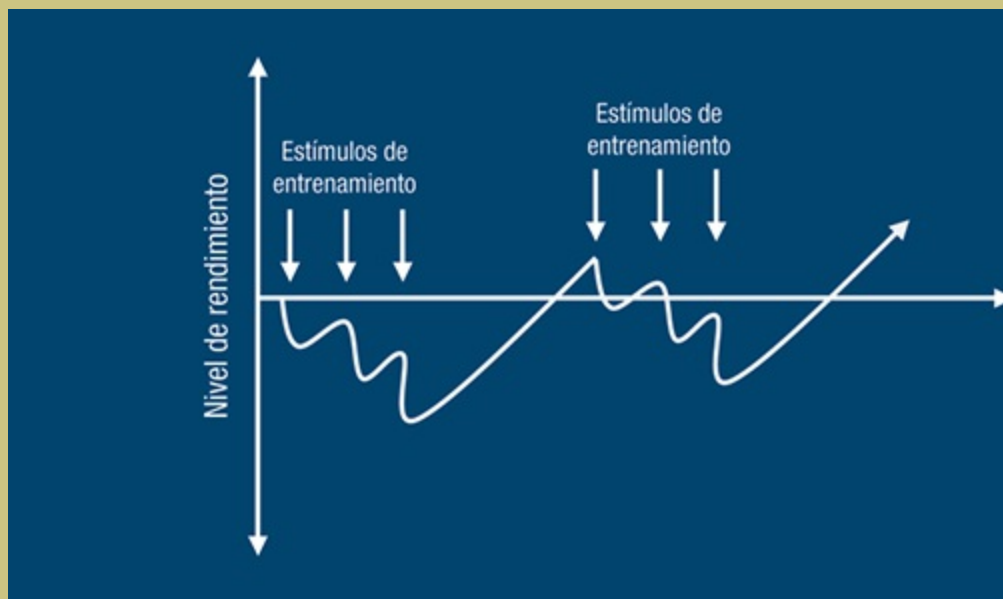


FIGURA 2.24. Supercompensación de efecto acumulado asociada a la aplicación de cargas con-concentradas. Obsérvese que, en relación con la figura 2.6, donde se representa una aplicación de cargas regulares, la aplicación de cargas concentradas requiere sucesivos estímulos de entrenamiento que determinan un nivel de fatiga progresivamente más elevado. Obsérvese que la ausencia posterior de estímulos orientados al mismo objetivo de entrenamiento va a permitir el predominio de los procesos anabólicos conducentes a un nuevo estado de supercompensación. La repetición cíclica de este

proceso debe considerarse en los deportistas con una elevada reserva actual de adaptación.

Adaptado de Siff M y Verhoshansky Y. Superentrenamiento. Paidotribo, 2000.

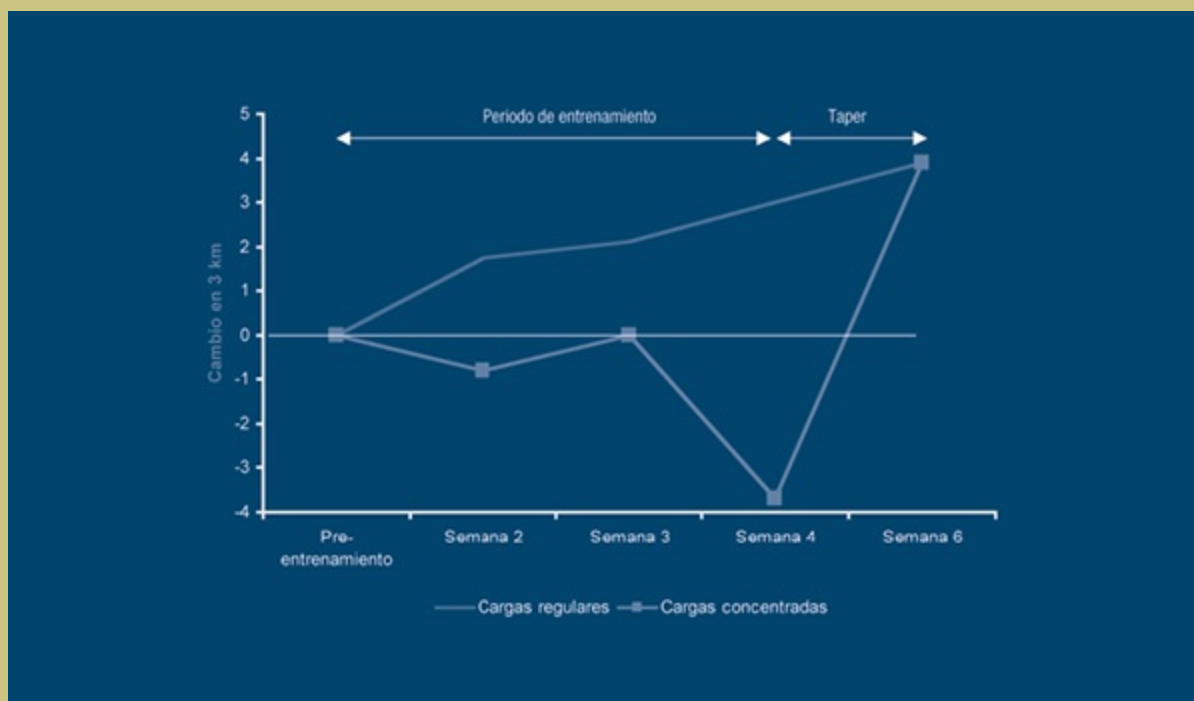


FIGURA 2.25. Cambios del rendimiento en una carrera de 3 km durante un proceso de entrenamiento con cargas regulares y concentradas. Obsérvese un ejemplo real del efecto diferencial de la aplicación de cargas regulares o concentradas. Cabe comprobar que en los deportistas sometidos a cargas regulares se evidencia un continua supercompensación positiva que determina una mejora del rendimiento. Obsérvese en el grupo sometido a cargas concentradas (carga de entrenamiento 290% mayor que el grupo de cargas regulares) la disminución del rendimiento y su supercompensación de efecto acumulado después de 2 semanas de taper, que se caracteriza por una reducción significativa del volumen de entrenamiento. Ambos grupos fueron similares en el rendimiento previo, por lo que puede considerarse una equivalente reserva actual, determinando que finalmente obtengan el mismo efecto de entrenamiento independientemente de la aplicación de cargas regulares o concentradas.

Adaptado de Coutts AJ et al. Int J Sports Med 2007;28:125-34.

De acuerdo con este **principio de especificidad de la adaptación**, es requisito fundamental para mejorar la prestación deportiva el conocimiento minucioso de todas las características de la modalidad deportiva objeto de entrenamiento: la motricidad, los aspectos informacionales, el metabolismo, los grupos musculares implicados, las necesidades de fuerza, etc. En *****ebook converter DEMO Watermarks*****

definitiva, esto requiere un conocimiento de los **factores de rendimiento específicos** de la modalidad deportiva, y únicamente el desarrollo de estos factores determinará una mejora de la prestación deportiva. De hecho, la filosofía de este manual está determinada por una constante referencia al análisis específico de los factores de rendimiento asociados a las distintas modalidades deportivas. Además de a los factores de rendimiento de las distintas modalidades deportivas, la especificidad del estímulo del entrenamiento está asociada a la **individualización** del entrenamiento en función de las características de los deportistas, fundamentalmente en relación con su reserva actual de adaptación.

Síntesis

- ▶ Únicamente mediante la continua supervisión y reflexión del proceso de entrenamiento de un deportista es posible establecer el estímulo de entrenamiento óptimo para cada momento.
- ▶ La aplicación en cada momento del mínimo estímulo que produce las adaptaciones deseadas es el principio que debe servir de referencia durante el proceso de entrenamiento de cada deportista. La magnitud de este estímulo es dependiente del umbral de adaptación que tiene cada deportista en cada momento en los sistemas morfofuncionales a los que va orientado el entrenamiento.
- ▶ La magnitud del estímulo de entrenamiento debe definirse con claridad considerando la carga externa, que determina los componentes del entrenamiento, y la carga interna, que determina las reacciones del organismo a la carga externa. El control de las cargas externa e interna es requisito básico para conocer el nivel de exigencia requerido al deportista en los distintos momentos de la temporada y la orientación del estímulo de entrenamiento.
- ▶ El control de la carga interna puede realizarse mediante valoración directa de diferentes procesos fisiológicos durante la aplicación del estímulo de entrenamiento, o en el proceso de recuperación mediante la valoración indirecta a través de la carga externa relativa y mediante la valoración subjetiva del deportista y/o entrenador utilizando escalas numéricas.
- ▶ Aunque la metodología más adecuada para definir la carga interna

depende del objetivo de entrenamiento, probablemente el procedimiento de mayor utilidad es la cuantificación subjetiva en escalas numéricas, habiendo definido previamente, cuando sea posible, el estímulo de entrenamiento mediante la carga externa relativa y/o controlando parámetros fisiológicos y psicológicos durante la aplicación del estímulo y en el período de recuperación.

- La reserva actual del deportista, que considera el grado de adaptación del que dispone en cada momento en relación con el máximo potencial teórico del que dispone genéticamente, es el principal factor que determina la magnitud y características del estímulo de entrenamiento.
- Debido a que el máximo potencial del que dispone genéticamente un deportista, englobado en el concepto de reserva total de adaptación, no puede ser pronosticado con exactitud, debe establecerse sus posibilidades de adaptación asociadas a la reserva actual que posee en cada momento mediante criterios de coherencia como la edad, la comparación con deportistas de alto nivel de rendimiento a su misma edad y su experiencia previa de entrenamiento para las distintas capacidades y objetivos.
- En los deportistas con baja reserva actual de adaptación, unos estímulos de entrenamiento relativamente poco exigentes permiten obtener altos niveles de adaptación. Conforme se aproxima la reserva actual de adaptación de un deportista a su reserva total, son necesarios estímulos de entrenamiento progresivamente más exigentes que van a inducir adaptaciones de menor nivel o incluso únicamente permitirán mantener el nivel de rendimiento.
- En los deportistas con baja reserva actual de adaptación, la magnitud del estímulo de entrenamiento debe aumentarse progresivamente permitiendo la continua supercompensación de los sistemas implicados. Tradicionalmente se ha establecido para estos deportistas el entrenamiento simultáneo de diferentes objetivos de trabajo priorizados en función del momento de la temporada.
- En los deportistas con elevada reserva actual de adaptación, la intensificación del estímulo de entrenamiento requiere períodos orientados a objetivos concretos, que varían en función del momento de la temporada, sin permitir la sucesiva recuperación, seguidos por períodos de recuperación que induzcan una supercompensación de efecto acumulado.

- Las adaptaciones inducidas por el estímulo de entrenamiento son específicas de los sistemas a los que va orientado, especialmente en sujetos con una reserva actual relativamente elevada. Esto determina que el entrenamiento debe orientarse a la especificidad en la que se manifiestan los distintos factores que determinan el rendimiento de cada modalidad deportiva.

Cuestionario de asimilación

1. Define el principio básico que debe regir la exigencia del estímulo de entrenamiento de cada deportista en cada momento de su trayectoria deportiva.
2. Define el concepto de umbral de adaptación.
3. Establece la estrategia que consideres más adecuada para conocer la magnitud del estímulo de entrenamiento que requiere cada deportista.
4. Establece las diferencias entre carga externa, carga externa relativa y carga interna.
5. Indica los criterios que consideras más adecuados para definir la magnitud del estímulo de entrenamiento en un entrenamiento de resistencia de media y larga duración, en un entrenamiento de fuerza con sobrecargas, en un entrenamiento de fuerza explosiva con ejercicios específicos y en un entrenamiento característico de los deportes de equipo.
6. Define los conceptos de reserva total de adaptación, reserva actual de adaptación y reserva de adaptación.
7. Indica si consideras que la reserva total de adaptación es la misma para todos los deportistas.
8. Identifica cómo se podría conocer la reserva actual de adaptación que tiene en un determinado momento un deportista.
9. Establece las diferencias en la aplicación de estímulos sucesivos de entrenamiento y en el nivel de adaptación entre deportistas con elevada y baja reserva actual de adaptación.
10. Indica las aplicaciones prácticas derivadas de la especificidad de la

adaptación.

Período óptimo de recuperación

Luis Carrasco Páez, Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender que la recuperación es parte integral del proceso de entrenamiento y que su duración depende de la magnitud y orientación del estímulo y del modelo de carga aplicado según el nivel de adaptación del deportista.
- Comprender que el período óptimo de recuperación, al igual que la magnitud del estímulo, sólo puede establecerse durante la continua supervisión del proceso de entrenamiento.
- Conocer que existen diferentes indicadores objetivos y subjetivos con elevada utilidad práctica para establecer el estado de recuperación de los deportistas.
- Disponer de la evidencia científica que existe actualmente sobre la eficacia de los distintos medios de recuperación activos y pasivos.
- Comprender que la utilización de estrategias orientadas a promover un estilo de vida saludable en los deportistas es básica para facilitar el período de recuperación y la aplicación sucesiva de estímulos de entrenamiento.

Índice

3.1. La recuperación asociada al estímulo de entrenamiento

3.2. Indicadores de la recuperación del deportista

3.3. Medios de recuperación

Medios activos de recuperación

Medios pasivos de recuperación

Recuperación invisible

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Para un adecuado proceso de entrenamiento, es igual de importante controlar el estímulo al que ha sido sometido el deportista como sus efectos en el período de recuperación requerido hasta la aplicación del siguiente estímulo. En este apartado, además de establecer las principales herramientas para controlar el período de recuperación, se analiza la eficacia de los medios habitualmente utilizados para facilitar este proceso.

3.1. La recuperación asociada al estímulo de entrenamiento

En el proceso de adaptación, la recuperación es tan importante como el control del estímulo de entrenamiento. La **recuperación** puede definirse como el proceso a través del cual el deportista restablece su estado psicológico y funcional después de haber realizado uno o varios esfuerzos que han inducido al organismo a una situación de **fatiga aguda**. Básicamente, se trata de restaurar el nivel de hidratación, las reservas de sustratos energéticos, principalmente fosfágenos y glucógeno (tanto muscular como hepático), reparar la estructura de la fibra muscular, eliminar o derivar hacia otros tejidos u órganos sustancias que pueden comprometer la función celular en el músculo, y, ya en el plano psicológico, reducir el estrés derivado del esfuerzo y de las situaciones (entrenamiento y/o competición) en las que éste se ha realizado. Las exigencias de los programas actuales de entrenamiento y de los calendarios deportivos, en los que se puede comprobar un considerable aumento de la frecuencia de las competiciones, hacen que la recuperación de los deportistas sea una parte fundamental de su preparación.

Como se ha indicado, el modelo de entrenamiento se basa en la idea de que el ejercicio físico conduce a un desequilibrio en la homeostasis celular (Viru, 1994). Este ejercicio que induce los cambios se asume como el principal estímulo del inicio de respuestas fisiológicas para **restaurar la homeostasis** e **inducir adaptaciones** al entrenamiento en el período de recuperación. Presuntamente, los procesos de recuperación no paran cuando se restaura la homeostasis, sino que continúan hasta alcanzar una **supercompensación** (Viru, 1994). El mejor momento para el siguiente entrenamiento es cuando la supercompensación ha alcanzado su mayor nivel. En consecuencia, el conocimiento de la recuperación necesaria para los distintos estímulos de

entrenamiento es esencial para obtener nuevos niveles de prestación. Aunque en determinados deportistas y momentos de la temporada es conveniente la aplicación de sucesivos estímulos de entrenamiento sin que el deportista esté recuperado de las cargas precedentes, la dinámica general del proceso de entrenamiento determina la aplicación del estímulo en estado de supercompensación. Con este objetivo, numerosos teóricos del entrenamiento han establecido criterios de referencia del período óptimo de recuperación para distintos procesos fisiológicos (tabla 2.2), objetivos de entrenamiento (tabla 2.3) y en función de la cuantificación subjetiva de la carga interna (tabla 2.4).

TABLA 2.2. Período óptimo de recuperación de distintos procesos fisiológicos

Reposición completa de los depósitos de fosfato de creatina muscular	4-6 min
Retorno a los valores iniciales de frecuencia cardíaca y presión arterial	20 min
Compensación del descenso de los niveles de azúcar en sangre	20-30 min
Estado de equilibrio ácido/alcalino	30 min
Declina la inhibición de la síntesis de las proteínas en los músculos	60 min
Cambio del metabolismo catabólico a principalmente anabólico	90 min
Recuperación casi completa de las funciones neuromusculares	2 h
Restablecimiento del equilibrio líquido	6 h-1 día
Reposición del glucógeno hepático	1 día
Reposición del glucógeno muscular	2-7 días
Reposición de los depósitos de grasa muscular	3-5 días
Regeneración de las proteínas contráctiles destruidas parcialmente	3-10 días

Adaptado de Neumann G et al. Successful endurance training. Meyer & Meyer Sport, 2000.

Aun considerando de gran utilidad la aportación de estos autores, estos criterios únicamente nos deben servir como una referencia general en el control del binomio estímulo-recuperación. El **período óptimo de recuperación** de los distintos procesos fisiológicos depende de las **características del estímulo** de entrenamiento, su objetivo y su magnitud, y además es diferenciado en función del **nivel del deportista**. Igualmente, el período de recuperación de los distintos objetivos de entrenamiento difiere significativamente en función de la magnitud del estímulo, del nivel y estado

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de prestación del deportista y de las características de los estímulos precedentes. Aunque la cuantificación de la recuperación en función de la subjetividad de la carga interna tiene evidentes aplicaciones prácticas, el período óptimo de recuperación para un mismo nivel de carga interna va a diferir en función del objetivo de entrenamiento desarrollado.

TABLA 2.3. Período óptimo de recuperación según los objetivos del entrenamiento

<i>Tipo de entrenamiento</i>	<i>Tiempo de recuperación</i>
Anaeróbico aláctico	5-8 h
Anaeróbico glucolítico	48-72 h
Anaeróbico-aeróbico	48-72 h
Aeróbico	48-100 h
Fuerza explosiva	8-12 h
Fuerza máxima	24-72 h
Fuerza resistencia	24-72 h

Adaptado de Bompa TO. Periodization of strength training: the new wave in strength training. Veritas Publis. Inc., 1993.

3.2. Indicadores de la recuperación del deportista

De forma análoga a lo establecido para la cuantificación de la carga interna correspondiente al estímulo de entrenamiento, el período **óptimo de recuperación** debe basarse en una combinación de **indicadores de la recuperación** objetivos y subjetivos. Nuevamente la experiencia del entrenador y especialmente las consideraciones aportadas por los deportistas deben servir como criterios de referencia.

En relación con la **percepción del deportista** respecto a su estado de recuperación, consideramos que es de especial utilidad la adaptación de la escala de fatiga de Borg al proceso de recuperación “Total Quality Recovery Scale” (TQR) (Kentä y Hassmén, 1998) (figura 2.26). Esta escala permite controlar la recuperación psicofisiológica en el proceso de entrenamiento, que incluye la globalidad de los efectos del sueño, descanso, nutrición, recuperación, enfermedad y entrenamiento. Aunque inicialmente los autores establecieron como referencia la administración de esta escala justo antes de que el deportista fuese a dormir para cuantificar su estado en las últimas 24 horas, consideramos que puede aplicarse en cualquier situación del proceso

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de entrenamiento, incluido la recuperación entre las distintas fases de una misma sesión. En la literatura científica y en los centros de entrenamiento de deportistas de elite es común la utilización de otros cuestionarios más complejos, como el “Recovery Stress Questionnaire for Athletes” (RESTQ-Sport) (Kellmann y Kallus, 2001), el “Daily Analysis of Life Demands for Athletes” (DALDA) (Rushall, 1990), el “Profile of Mood States” (POMS) (McNair *et al.*, 1971), el “Athlete Burnout Questionnaire” (ABQ) (Raedeke y Smith, 2001), que pueden considerarse válidos como indicadores del balance entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación, incluyendo la influencia de otros factores de estrés no asociados al proceso de entrenamiento, y, por tanto, hay que considerarlos muy útiles para su aplicación en períodos intensos de entrenamiento.

TABLA 2.4. Período óptimo de recuperación según la cuantificación subjetiva de la carga interna

<i>Tipo de sesión</i>	<i>Magnitud de carga de entrenamiento</i>	<i>Tiempo de recuperación total</i>
Desarrollo	Extrema Grande Importante	>72 h 48-72 h 24-48 h
Mantenimiento	Media	12-24 h
Recuperación	Pequeña	<12 h

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. COE-UAM, 1994.

Aunque teóricamente la monitorización mediante escala numérica puede ser suficiente para controlar la adecuación de la recuperación al estímulo de entrenamiento precedente, el entrenador dispone de otros recursos sencillos que le permiten controlar el proceso de entrenamiento. Al respecto, un entrenador con experiencia y conocedor de sus deportistas puede verificar el estado de recuperación observando si los deportistas responden adecuadamente al estímulo de entrenamiento. El entrenador, a través del seguimiento y monitorización del entrenamiento, debe conocer el umbral de tolerancia al estímulo de entrenamiento de cada deportista para cada momento de la temporada. Una respuesta inadecuada a un estímulo que habitualmente es asimilado por el deportista es uno de los mejores indicadores de que la recuperación no es adecuada. En este sentido, además de la **percepción del entrenador**, es de especial utilidad la determinación de **indicadores de rendimiento**. Sin duda, el rendimiento del deportista es el

principal indicador de la adecuación del proceso de entrenamiento. Debido a que la fatiga está asociada a una disminución del rendimiento, únicamente el restablecimiento del mismo nos puede indicar el período óptimo de recuperación. Los mejores indicadores de rendimiento lógicamente están asociados a las características del entrenamiento de las distintas modalidades deportivas. Sin embargo, es fácil observar si el deportista supera con la facilidad esperada el peso programado en una sesión de sobrecargas o si es capaz de desplazarse a la velocidad programada con niveles equiparables de FC, etc. Desde esta perspectiva, debido a que la fatiga está asociada a una disminución de la manifestación de fuerza, la valoración de la altura de salto o de la fuerza manifestada ante una determinada carga en un ejercicio con sobrecargas son indicadores sencillos y aplicables durante los descansos en la propia sesión de entrenamiento y entre las sucesivas sesiones para objetivar que la recuperación es la adecuada.

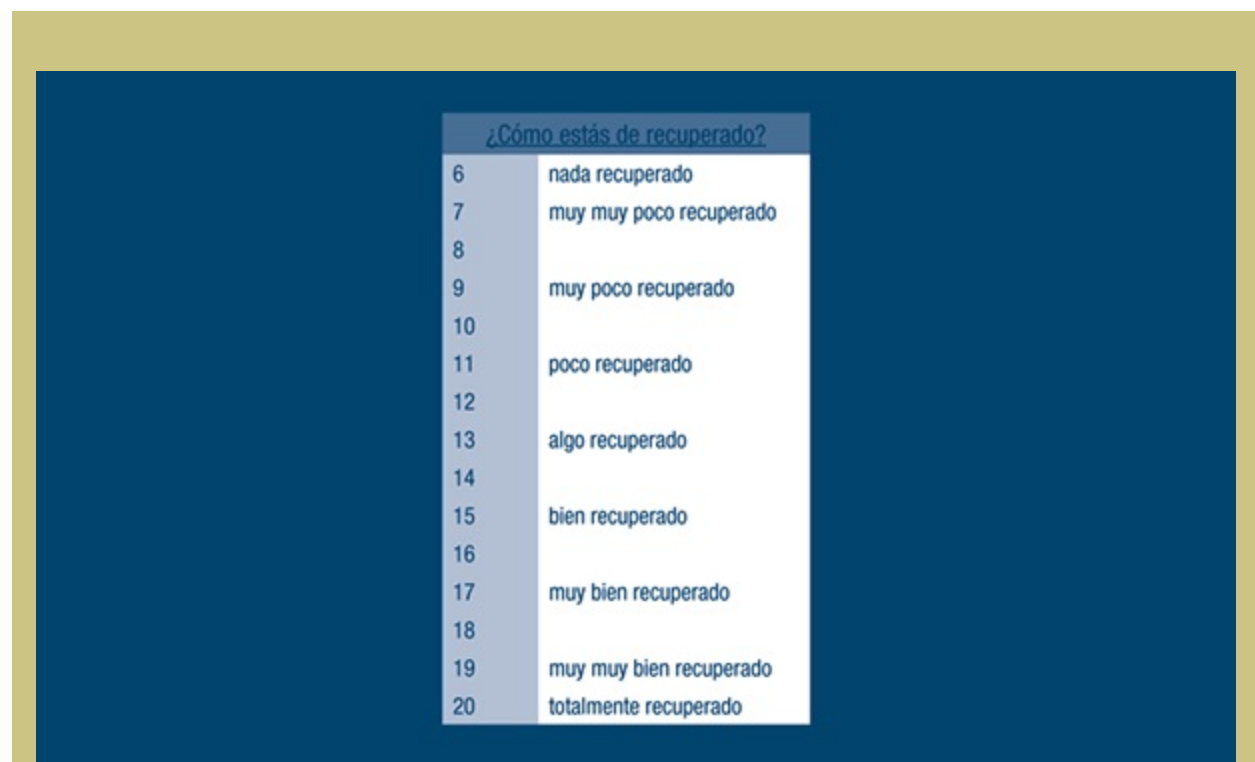


FIGURA 2.26. Cuantificación de la recuperación mediante la escala numérica de Kenttä y Hassmén. Esta escala, equivalente a las establecidas por Borg para la percepción subjetiva de esfuerzo, es fácil de aplicar y de gran utilidad para controlar la sucesiva recuperación del deportista en el proceso de entrenamiento.

Adaptado de Kenttä G y Hassmén P. Sports Med 1998;26:1-16.

En períodos de entrenamiento intenso, el entrenador también puede apoyarse para establecer la óptima relación entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación en la determinación de los numerosos **parámetros fisiológicos** asociados a los síntomas del sobreentrenamiento. Entre ellos cabe destacar la determinación del índice testosterona/cortisol, ya que establece la relación entre los procesos anabólicos y los catabólicos (figura 2.27), la *ratio* glutamina/glutamato, catecolaminas, leptina, ferritina, hierro sérico y la respuesta al esfuerzo de la hormona de crecimiento. Algunos autores han tratado de establecer criterios fijos para determinar una relación inadecuada entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación. Por ejemplo, Adlercreutz *et al.*, (1986) establecieron que puede existir un agotamiento elevado cuando un atleta cumple uno de los siguientes criterios: la *ratio* de testosterona/cortisol libre inferior a $0,35 \times 10^{-3}$, y/o una disminución de la *ratio* $\geq 30\%$. Sin embargo, los resultados observados en los distintos estudios son controvertidos, sugiriendo una gran variabilidad individual en los índices de estas variables fisiológicas (Mäestu *et al.*, 2005). Un desequilibrio entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación también se ha asociado a una disminución y un aumento, respectivamente, del peso corporal y de la FC basal (Sands y Stones, 2006). De hecho, es interesante la reciente línea de investigación que centra su atención en el estado funcional del sistema nervioso autónomo mediante la monitorización del entrenamiento en función de la FC de reposo, la FC a intensidad submáxima, la FC de recuperación después de un ejercicio realizado a una determinada intensidad submáxima y la variabilidad de la FC (variación de los intervalos RR en el ECG) (Borrasen y Lambert, 2008; Kiviniemi *et al.*, 2007). Este método de cuantificar la respuesta fisiológica individual al entrenamiento y su aplicación en la prescripción de programas de entrenamiento adecuados requiere más investigación.

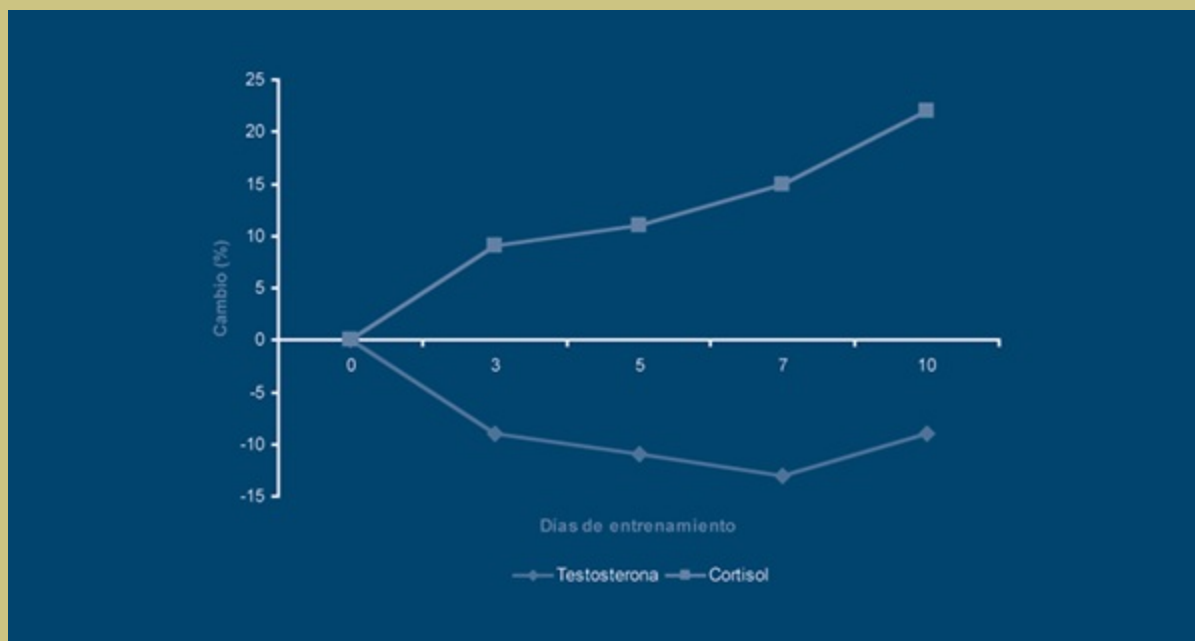


FIGURA 2.27. Cambios de los niveles sanguíneos de testosterona y cortisol durante un período de incremento de la distancia de nado de 4.000 a 9.000 m cada día. En este ejemplo, la intensificación del proceso de entrenamiento está asociada a una disminución de la *ratio* testosterona/cortisol como consecuencia de un predominio de los procesos catabólicos sobre los anabólicos. La determinación de esta relación puede ser especialmente útil para controlar el efecto de la aplicación de cargas concentradas.

Adaptado de Costill DL et al. Med Sci Sports Exerc 1988;20:249-54.

A este respecto, un reciente metaanálisis muestra que la interpretación correcta de la FC basal, la FC a intensidad submáxima y máxima, y la variabilidad de la FC como índices de un entrenamiento excesivo necesita la comparación simultánea con otros signos o síntomas (Bosquet *et al.*, 2008).

3.3. Medios de recuperación

Debido a que el balance entre el estrés de la competición y el entrenamiento con la recuperación es importante para maximizar el rendimiento de los deportistas, actualmente se está utilizando como parte integral del programa de entrenamiento de los deportistas de elite una gran variedad de medios de recuperación (figura 2.28). La ausencia de recuperación apropiada puede determinar que el deportista no entrene a la intensidad requerida en la siguiente sesión de entrenamiento. Además, es necesaria una recuperación

completa para un óptimo rendimiento en competición.

Globalmente, las sesiones de recuperación se aplican con el fin de permitir que el deportista tolere un estímulo de entrenamiento superior asociado a la intensidad, el volumen y la frecuencia, y mejorar el efecto de un determinado estímulo de entrenamiento. Los **medios de recuperación** pueden aplicarse durante la propia sesión de entrenamiento, al finalizar la misma y en el período que transcurre entre sesiones. A continuación se definen las características de los distintos medios de recuperación y su efectividad como parte integral del proceso de entrenamiento.

Medios activos de recuperación

Actividad física aeróbica

Han sido numerosas las investigaciones que se han efectuado con el objetivo de contrastar la efectividad de la recuperación activa (basada en el ejercicio físico de moderada o baja intensidad) y la recuperación pasiva, concluyendo habitualmente que el rendimiento deportivo es mayor tras aplicar recuperaciones de tipo activo (Dorado *et al.*, 2004; Spierer *et al.*, 2004; Monedero y Donne, 2000; Ahmaidi *et al.*, 1996; Bognadis *et al.*, 1996). En este sentido, los efectos positivos asociados a la **recuperación activa** implican: (i) una mayor participación del metabolismo aeróbico durante los esfuerzos intensos que se realizan con posterioridad (Dorado *et al.*, 2004), (ii) una mayor recuperación del pH intracelular después de un esfuerzo (Sairyo *et al.*, 2003), y (iii) un aumento del riego sanguíneo de los músculos ejercitados, lo que produce un aumento del VO_2 que se asocia a una mayor resíntesis de PCr (Dorado *et al.*, 2004; Bognadis *et al.*, 1996).

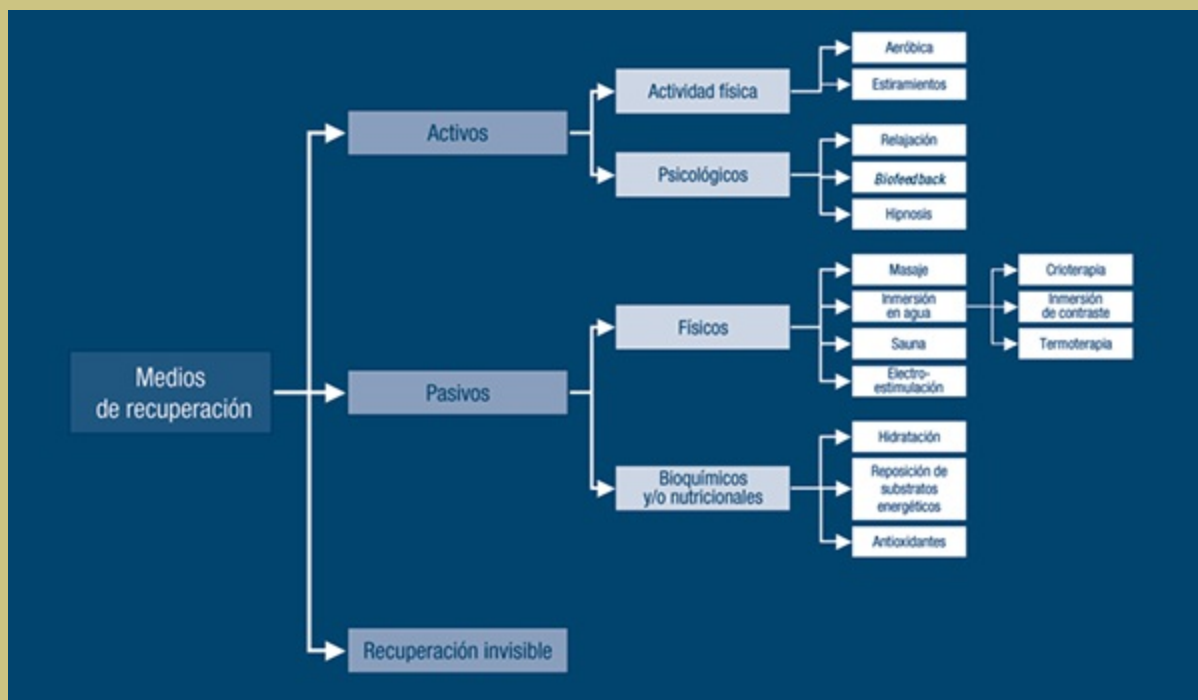


FIGURA 2.28. Los principales medios de recuperación utilizados en deportistas de elite. Obsérvese los medios de recuperación más utilizados para facilitar la recuperación de los deportistas.

Original de los autores.

Otros estudios han demostrado que la recuperación activa no siempre produce mejoras del rendimiento de un esfuerzo posterior (Lau *et al.*, 2001; Bond *et al.*, 1991). De hecho, varias investigaciones han demostrado una mejora del rendimiento deportivo al aplicar una recuperación de tipo pasivo (15-120 seg) entre esfuerzos de alta intensidad (Toubekis *et al.*, 2005; Dupont *et al.*, 2004, 2003). Los beneficios que se atribuyen a la **recuperación pasiva** tienen relación con el lento descenso de los niveles de oxihemoglobina (Dupont *et al.*, 2004), lo que sugiere una mayor reoxigenación muscular, y por tanto, una mayor resíntesis de PCr (Dupont *et al.*, 2004, 2003).

Los efectos que sobre el rendimiento deportivo ejerce la recuperación activa parecen estar relacionados con la intensidad de los ejercicios a realizar, con el criterio determinante del rendimiento (desarrollo del pico de potencia, de la potencia media o del tiempo hasta el agotamiento), con la duración de la recuperación y la intensidad del esfuerzo en el período de recuperación. Según Dorado *et al.*, (2004), cuando la intensidad del esfuerzo en la

recuperación es superior al 50% de la velocidad aeróbica máxima (véase el concepto en el apartado 2 del capítulo 4), los efectos de dicha recuperación no son tan beneficiosos para el rendimiento en un esfuerzo posterior. El rendimiento en un ejercicio posterior mejora con la recuperación activa cuando ésta tiene una duración superior a 120 seg (Spierer *et al.*, 2004; Dorado *et al.*, 2004, Monedero y Donne, 2000; Ahmaidi *et al.*, 1996; Bognadis *et al.*, 1996).

Otro de los efectos que se atribuyen a la recuperación activa es una mayor velocidad de aclaramiento del lactato (Ahmaidi *et al.*, 1996). Aunque este aclaramiento parece ser más rápido durante un largo período de recuperación activa, podría no ser un criterio válido para evaluar la eficacia de un determinado tipo de recuperación. Una eliminación más rápida de este metabolito no implica necesariamente un mayor rendimiento en los esfuerzos posteriores. En varios estudios en los que se ha comparado la recuperación activa con la pasiva, el esfuerzo posterior a la recuperación no mejoró, a pesar de registrarse menores concentraciones sanguíneas de lactato (Bond *et al.*, 1991; Weltman y Regan, 1983). En otras investigaciones, sin embargo, se han observado mejoras del rendimiento tras una recuperación activa sin que los niveles de lactato, determinados después de los dos tipos de recuperación (activa y pasiva), mostraran diferencias significativas (Dorado *et al.*, 2004; Bognadis *et al.*, 1996).

La efectividad de la actividad física como medio de recuperación probablemente depende del **tipo de esfuerzo**:

Recuperación tras esfuerzos de corta duración y alta intensidad. Diversos estudios han analizado el efecto del ejercicio como medio de recuperación entre dos esfuerzos de corta duración y alta intensidad. En este sentido, y al disponer de 4 min de recuperación entre dos tests de Wingate (pedalear a la máxima intensidad posible durante 30 seg), se observó que el rendimiento alcanzado en el segundo test fue mejor tras realizar un ejercicio a una intensidad correspondiente al 28% del VO₂ máx. (Spierer *et al.*, 2004). Sin embargo, en un estudio de diseño similar se comprobó que una recuperación de tipo pasivo aplicada durante los 15 seg que separaron la realización de 2 tests de Wingate (de 15 y 30 seg) fue más efectiva en cuanto al rendimiento alcanzado en el segundo test que al aplicar una recuperación activa a intensidades del 20% y 40% de la velocidad aeróbica máxima (Dupont *et al.*, 2007). En otro estudio, Greenwood *et al.*, (2008) analizaron en nadadores el

efecto de diferentes intensidades de la recuperación activa. Para ello, sometieron a los sujetos a dos pruebas máximas a nado sobre 200 m separadas por 10 min de pausa. En este período se establecieron tres intensidades de recuperación: velocidad de nado correspondiente al umbral anaeróbico láctico y velocidades de nado correspondientes al 50% y 150% de la correspondiente a dicho umbral. Los resultados mostraron que la intensidad de nado que permite una mayor recuperación de los nadadores (además de conseguir reducir las concentraciones de lactato) es la que corresponde al umbral anaeróbico.

Recuperación entre esfuerzos de tipo repetitivo. Al alternar períodos de esfuerzo y de recuperación de 15 seg, el tiempo hasta el agotamiento fue mayor cuando se aplicó una recuperación de tipo pasivo, registrando valores superiores a los encontrados tras utilizar una recuperación de tipo activo al 50% de la velocidad aeróbica máxima (Dupont *et al.*, 2003) o al 40% del VO_2 máx. (Dupont *et al.*, 2004). Al contrastar el efecto de las recuperaciones activa y pasiva sobre el rendimiento en 6 esprines de 4 seg realizados cada 25 seg, Spencer *et al.*, (2006) hallaron que, utilizando la recuperación activa, la potencia alcanzada en el esprín final fue significativamente inferior a la alcanzada tras utilizar la recuperación pasiva, además de observar una mayor disminución del pico de potencia a lo largo de los esfuerzos. Estos resultados se relacionaron con una fuerte tendencia a la disminución de las concentraciones de PCr obtenidas inmediatamente después de la serie de esprines utilizando una recuperación de tipo activo. Toubekis *et al.*, (2005) observaron un rendimiento muy superior al realizar 8 repeticiones a nado sobre 25 m cuando se aplicó una recuperación pasiva (45 y 120 seg) al compararlo con el alcanzado al utilizar una recuperación activa entre este tipo de esfuerzos. Resultados similares fueron hallados por Castagna *et al.*, (2008) al evaluar la efectividad de recuperaciones activa y pasiva durante el desarrollo de una prueba consistente en 10 repeticiones sobre 30 m con pausas de 30 seg entre repeticiones. El tiempo de recuperación entre acciones repetitivas en tenis resultó ser un factor determinante en la eficacia de golpes repetitivos (Ferrauti *et al.*, 2001). Así, períodos de descanso de 15 seg permitieron una mayor efectividad en los golpes y una mayor velocidad de desplazamientos que descansos de 10 seg establecidos entre 6 series de 5 repeticiones de carrera con golpeo final *passing shot*. En esta línea se ha establecido que la duración mínima del período de recuperación para

mantener el pico de potencia inicial durante dos esfuerzos de corta duración (8 seg) sobre cicloergómetro es de 30 seg (Billaut *et al.*, 2003). En línea con lo anterior, la relación entre el tiempo de recuperación y el tiempo de ejercicio, es decir, el patrón de recuperación, es otro de los aspectos que se han investigado en diferentes ocasiones. En uno de estos estudios se observó que, al aplicar un patrón de recuperación en el que el tiempo entre esprints en cicloergómetro (6 seg) se acortaba, el trabajo total fue mayor al compararlo con el resultante de aplicar un patrón de recuperación diferente (constante o con aumento del tiempo de recuperación entre esprints) (Billaut y Basset, 2007).

Recuperación tras esfuerzos de moderada intensidad y larga duración. Reilly y Rigby (2002) analizaron la eficacia de la recuperación activa en dos grupos de jugadores de fútbol universitario. Uno de esos grupos realizó, tras un partido de fútbol, una recuperación consistente en 5 min de carrera a baja intensidad, 5 min de estiramientos y 2 min de masaje en las piernas. El otro grupo realizó una recuperación de tipo pasivo consistente en descansar en posición de sedestación 12 min. Para llevar a cabo la comparación, los jugadores realizaron diferentes pruebas físicas inmediatamente después de la finalización del partido y al cabo de 3 días, comparándose sus resultados con los obtenidos justo antes de dicho encuentro. Aunque la altura alcanzada en el salto vertical disminuyó en ambos grupos, lo fue menos en el grupo de recuperación activa. En otra prueba, el grupo de recuperación pasiva vio disminuida en un 50% la velocidad de carrera en un esprint de 30 m. Además, el rendimiento alcanzado en un total de 7 repeticiones sobre 30 m de carrera (con 20 seg de pausa entre repeticiones) no se alteró en el grupo de recuperación activa, siendo menor en el grupo que realizó recuperación pasiva. Los autores del estudio concluyeron que los jugadores de fútbol necesitan emplear la recuperación activa tras los esfuerzos importantes (especialmente partidos de preparación a mitad de semana) con el fin de afrontar con garantías las competiciones de fin de semana. Pero en un estudio de diseño prácticamente similar al anterior, Andersson *et al.*, (2008) hallaron que, tras jugar un partido de fútbol, los sujetos estudiados presentaron una disminución significativa del rendimiento relativo a una carrera tipo esprint, el torque pico en la extensión y flexión de rodilla, y un incremento de los niveles de CK, urea y ácido úrico, produciéndose además dolor muscular. Con independencia del tipo de recuperación empleado (activo frente a pasivo), la capacidad de rendimiento en el esprint retornó a los niveles

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

iniciales a las 5 h; más tarde lo hicieron los niveles de urea y ácido úrico (21 h). El torque pico en la flexión y extensión de rodilla se restableció a las 27 y 51 h, respectivamente, siendo los niveles de CK y el dolor muscular los parámetros que más tardaron en volver a la normalidad (69 h). Los autores, además de definir la cinemática de diferentes parámetros en su vuelta a la normalidad, concluyeron que no parece existir un efecto de uno u otro medio de recuperación sobre el restablecimiento de parámetros neuromusculares y bioquímicos tras un esfuerzo de moderada intensidad y larga duración como el del fútbol.

Globalmente, los resultados encontrados respecto a los beneficios de la recuperación activa son contradictorios. El **tiempo de recuperación entre los esfuerzos** parece ser el aspecto determinante de la efectividad de la recuperación activa. Cuando el tiempo de recuperación es **relativamente elevado**, la mayoría de los estudios han observado beneficios positivos sobre el rendimiento mediante una **recuperación activa**. Sin embargo, cuando el tiempo de recuperación es **relativamente corto**, la **recuperación pasiva** permite obtener mayor rendimiento en esfuerzos posteriores. A efectos prácticos, la recuperación activa puede ser útil en las sesiones de entrenamiento y en las competiciones donde se suceden esfuerzos separados por un tiempo relativamente corto (p. ej., deportes de combate). Sin embargo, en la mayoría de los esfuerzos intermitentes, como en los deportes de equipo y de raqueta, aunque el corto tiempo de recuperación entre los repetidos esprints en las fases de mayor exigencia indican mayor beneficio de la recuperación pasiva, se sugiere la utilización de recuperación activa debido a que es inherente al contexto de la competición. La utilización de la recuperación activa entre sesiones de entrenamiento no parece tener ningún efecto práctico. En este sentido, aunque la recuperación activa elimina más rápidamente el lactato muscular, el nivel de lactato retorna al nivel basal después de aproximadamente 90 min (Karlsson y Saltin, 1971), un tiempo muy inferior al establecido entre dos sesiones de entrenamiento. Además, en la revisión realizada por Barnett (2006) se sugiere que la recuperación activa entre sesiones puede disminuir la *ratio* de la síntesis del glucógeno muscular.

Estiramientos

Los **estiramientos** se utilizan comúnmente antes y después de las sesiones de

entrenamiento, así como en sesiones específicas de recuperación. No existen estudios que hayan determinado el efecto de los estiramientos entre sesiones sobre el rendimiento durante la recuperación después de una sesión de ejercicio (Barnett, 2006). En la revisión realizada por este autor se muestra que no hay evidencia de que los estiramientos tengan beneficio a corto y largo plazo como medio de recuperación, e incluso no ha mostrado ser efectivo para mejorar el rendimiento al realizar estiramientos en la hora previa a una competición ni conseguir una reducción del riesgo de lesiones.

Medios psicológicos

Los **medios psicológicos** más indicados en la recuperación del deportista se centran principalmente en el control de la activación a través de la relajación. La **relajación**, que consiste en la disminución paulatina de la actividad orgánica, puede alcanzarse gracias a diferentes métodos. Se puede conseguir mediante un sencillo proceso de respiración lenta, tranquila, invitando al deportista a que disfrute de ella y a la vez que se inicie con un cierto grado de concentración hacia su cuerpo y hacia la separación entre su estado y los estímulos externos. A medida que tome conciencia de sus hábitos respiratorios, reconocerá sus errores y utilizará la respiración como un método clave para equilibrar el cuerpo, la mente y las emociones.

Otro método sencillo de relajación es el que se realiza mediante la respiración sincronizada de intervalos cortos seguidos de otros más largos pero espaciados en el tiempo. Con este procedimiento logramos mantener el nivel necesario de relajación y concentración como paso inicial a la visualización.

Existen otros métodos de relajación como la progresiva de Jacobson (Bernstein, 1999) y el entrenamiento autógeno de Schultz (Schultz, 1959). En casos de gran tensión y fatiga, la técnica de Fedora Aberasturi (Miguel, 2001) es de especial importancia, por cuanto el deportista se vuelve hacia sí mediante la captación de sensaciones específicas y profundas que disminuyen paulatinamente el estrés, la carga ansiosa y el miedo, y específicamente relaja desde el interior del cuerpo los músculos. Al ser una técnica compleja, no debe ser manejada por inexpertos ni por técnicos o deportistas que quieran obtener resultados inmediatos.

En la actualidad, el **biofeedback** (biorretroalimentación) es una técnica muy utilizada para que el sujeto aprenda a relajar o disminuir los niveles de

actividad muscular restableciendo la recuperación y el control de los grupos musculares afectados, facilitando, como consecuencia, la coordinación de los movimientos en un posible esfuerzo posterior (Humphrey *et al.*, 2000).

La **hipnosis** deportiva, que provoca un estado mental especial, puede combinarse con otras variadas técnicas de enorme eficacia tanto en la preparación como en la recuperación óptima del deportista. Es también otro medio de mejorar el rendimiento (Nideffer, 1976).

Al aplicar uno u otro método de relajación han de considerarse antes varios factores, entre los que cabe destacar las características personales del deportista y su grado de creencia en este tipo de métodos. Por otro lado, y en orden a la optimización de los resultados, es necesaria la experiencia previa del sujeto y, en ocasiones, de los técnicos o entrenadores en el empleo de estas técnicas. Su empleo está indicado tanto para la recuperación en la competición (si su estructura y las condiciones ambientales lo permiten) como para cualquier situación postesfuerzo.

Medios pasivos de recuperación

Medios físicos

Se ha utilizado una gran variedad de **medios físicos** para facilitar la recuperación de los deportistas. Los más habituales son el masaje, las inmersiones en agua (crioterapia, inmersión de contraste, termoterapia), la sauna y la electroestimulación. Los estudios controlados sobre la aplicación práctica de estos medios son pocos y controvertidos. De hecho, tanto investigadores como entrenadores resaltan como uno de los aspectos más determinantes en el proceso de entrenamiento la necesidad de investigar sobre estos medios de recuperación (Williams y Kendall, 2007).

El **masaje** es muy utilizado en el proceso de entrenamiento de deportistas de elite, ya que comúnmente se piensa que disminuye el edema y el dolor, incrementa la eliminación del lactato sanguíneo y alivia el dolor muscular de inicio retardado (DOMS) como consecuencia de un incremento de flujo de sangre al músculo (Weerapong *et al.*, 2005). Pero estudios recientes demuestran que el masaje no aumenta el flujo sanguíneo (Hinds *et al.*, 2004) ni, en consecuencia, incrementa la *ratio* de eliminación del lactato sanguíneo después del ejercicio (Weerapong *et al.*, 2005). Además, estos efectos se

obtienen mediante métodos más sencillos y baratos como es la realización de una actividad física moderada. Aunque el masaje puede reducir el nivel de percepción del dolor, esto no se acompaña de un incremento del rendimiento y de la recuperación. En este sentido, de acuerdo con Barnett (2006), este proceso no es beneficioso debido a que el deportista puede intentar realizar un estímulo de entrenamiento superior sin ser real su mejor estado de recuperación. Si bien actualmente la mayoría de las pruebas no dan soporte al masaje como una modalidad que mejora la recuperación y beneficia el rendimiento (Barnett, 2006), algunos estudios sugieren un incremento del rendimiento en sujetos moderadamente entrenados entre esfuerzos realizados con breves períodos de recuperación (p. ej., 35 min) (Ogai *et al.*, 2008). Esto determina al menos la necesidad de investigar su aplicación práctica en deportistas de elite mediante una simulación de competición para las modalidades que presentan varias competiciones sucesivas con períodos cortos de recuperación.

También la **inmersión en agua** ha ganado popularidad como medio para mejorar la recuperación postesfuerzo. Básicamente, hay tres métodos que utilizan la inmersión en agua: **crioterapia**, **inmersión de contraste** y **termoterapia** (Wilcock *et al.*, 2006).

La **crioterapia** consiste en la aplicación de frío sobre la zona muscular minutos después de finalizar una sesión de entrenamiento o competición. Para ello, durante un masaje postentrenamiento se utiliza una bolsa con hielo en las primeras y últimas maniobras (figura 2.29) o bien se practican baños de inmersión de ~5-10 min con una temperatura del agua $\leq 15^{\circ}\text{C}$ (Wilcock *et al.*, 2006) (figura 2.30). El principal efecto de la crioterapia es el aumento de irrigación sanguínea debido a la vasodilatación asociada a la hiperemia reactiva al frío y la disminución de la temperatura muscular durante el esfuerzo. También se asocia a efectos de disminución de la tonicidad muscular y analgesia. Los primeros resultados de investigación no mostraron efectos positivos de esta técnica sobre la recuperación del deportista. Así, en una revisión sobre el tratamiento del DOMS, Cheung *et al.*, (2003) concluyeron que la crioterapia no es efectiva, aparte de su efecto analgésico. Por su parte, diferentes estudios han mostrado que la inmersión en agua fría no produce ningún efecto sobre la percepción del dolor, sobre la pérdida de fuerza muscular ni sobre el rendimiento después de cortos (Peiffer *et al.*, 2008; Eston y Peters, 1999) y largos períodos de recuperación (Howatson *et al.*, 2009); incluso puede reducir el rendimiento en sucesivos esfuerzos de

corta duración, lo que sugiere que los atletas que participan en esfuerzos de alta intensidad deben ser prudentes con la utilización de la crioterapia cuando las competencias están separadas por un intervalo corto de tiempo (Crowe *et al.*, 2007). En sujetos no entrenados se ha observado que la crioterapia tiene efectos negativos sobre la adaptación a largo plazo del proceso de entrenamiento (Yamane *et al.*, 2006). Sin embargo, la mayoría de los estudios recientes establecen argumentos claros sobre los efectos beneficiosos de la crioterapia. Así, se ha observado que la inmersión en agua fría entre dos esfuerzos separados por 15 min incrementa significativamente el rendimiento, lo que indica que esta técnica puede ser útil, por ejemplo, para su aplicación en los descansos de los partidos de los deportes de equipo (Peiffer *et al.*, 2008). En la misma línea, los resultados mostrados por Vaile *et al.*, (2008a) sugieren la utilidad de la crioterapia cuando se realizan dos sesiones diarias o varias competencias en uno o varios días. La principal crítica de estos estudios es que el protocolo seleccionado no simula las características de competición de ninguna modalidad deportiva. Se han realizado estudios que mostraron que, después de la simulación del esfuerzo que se realiza en una competición de los deportes de equipo, la crioterapia es efectiva para reducir la *ratio* de percepción del dolor y mejorar los niveles de fuerza y de resistencia a la fuerza explosiva durante un período de recuperación de 48 h (Ingram *et al.*, 2009; Bailey *et al.*, 2007). En esta línea de diferentes medios de recuperación, la crioterapia ha mostrado ser el medio más efectivo en un torneo de baloncesto con partidos sucesivos durante 3 días (Montgomery *et al.*, 2008). Futuros estudios deben confirmar estos resultados.

La **inmersión de contraste** implica habitualmente repetir, para una duración total de 4-30 min, la inmersión sucesiva en agua fría (8-10 °C) y agua caliente (38-40 °C) durante 30-300 seg (Wilcock *et al.*, 2006). Las ventajas asociadas a esta terapia pueden estar vinculadas a cambios de la presión intramuscular hidrostática por la alternancia de vasoconstricción y vasodilatación, que puede alterar el flujo sanguíneo en los músculos sumergidos y mejorar la eliminación del lactato. La investigación sobre este medio de recuperación no abunda. Después de un partido de rugby se ha observado que este medio de recuperación disminuye los niveles de la creatinina (Gill *et al.*, 2006). Pero Coffey *et al.*, (2004) no encontraron diferencias en el rendimiento de resistencia tras un período de 4 h entre diferentes medios de recuperación incluida la inmersión de contraste. Ingram

et al., (2009), en oposición a lo observado para la crioterapia, tampoco encontraron beneficios de la inmersión de contraste durante el proceso de recuperación de una simulación de esfuerzo de los deportes de equipo, lo que corrobora los resultados de previos estudios con similar protocolo (Dawson *et al.*, 2005).



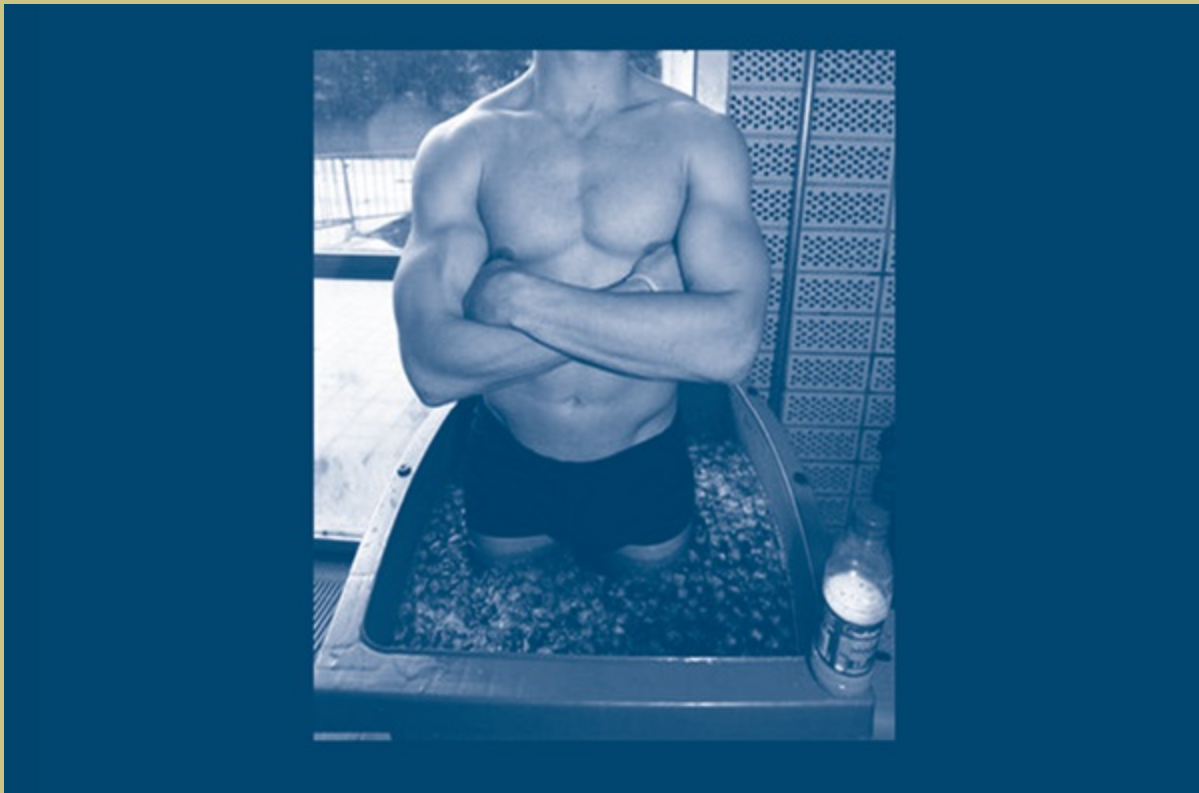


FIGURA 2.30. Aplicación de crioterapia mediante baño de inmersión en agua fría.
Original de los autores con permiso del deportista.

En esta línea, Hamlin (2007) observó que en comparación con la recuperación activa, la inmersión de contraste acelera la eliminación de lactato y facilita la recuperación de la FC, pero no tiene efecto sobre el rendimiento en sucesivos esfuerzos que requieren la manifestación de resistencia a la fuerza explosiva. Que nosotros sepamos, únicamente en el estudio de Vaile *et al.*, (2008b) se evidencia similar beneficio en la inmersión de contraste y la crioterapia durante el período de recuperación.

La **termoterapia** consiste en la inmersión en agua que supere la temperatura corporal $>36^{\circ}\text{C}$ (Wilcock *et al.*, 2006). Anecdóticamente, hay numerosos grupos de deportistas que tienen instalaciones que incluyen baños/spas y que realizan termoterapia después del entrenamiento. Sin embargo, en relación con otros métodos de inmersión en agua, muy pocos estudios han determinados los efectos fisiológicos y de rendimiento de la inmersión en agua caliente.

Según los conocimientos actuales, la inmersión en baños de agua caliente
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

no tiene efecto sobre el proceso de recuperación después de un esfuerzo y, en su caso, el efecto es significativamente menor que el observado con la crioterapia (Vaile *et al.*, 2008b, c).

La **sauna**, o baño de calor seco, es un medio clásico en la recuperación del deportista que consiste en la exposición durante aproximadamente 30 min a una elevada temperatura (80-90 °C) y baja humedad (5-15%), en combinación habitualmente con ducha fría. Los efectos de la sauna como medio de recuperación se han investigado poco. De hecho, sólo conocemos un estudio que ha centrado la atención en este medio de recuperación. Scoon *et al.*, (2007) observaron que la aplicación después del entrenamiento de una sauna durante 3 semanas incrementa el rendimiento de resistencia, probablemente asociado a un incremento del volumen de sangre (Scoon *et al.*, 2007). Sin embargo, hay que considerar que los sujetos evaluados por estos autores tenían un nivel de rendimiento bajo. Es posible esperar menores beneficios en atletas de elite debido a que éstos no parecen beneficiarse de una expansión del volumen de plasma (Warburton *et al.*, 1999) si no está asociada a un aumento de los hematíes. El efecto de la sauna sobre el aumento de los hematíes no tiene una evidencia científica clara (Scoon *et al.*, 2007). Lógicamente, son necesarios más estudios para determinar los posibles beneficios de la sauna.

La **electroestimulación** implica la transmisión de impulsos eléctricos por medio de electrodos superficiales para estimular periféricamente las unidades motrices provocando contracciones musculares. Se ha sugerido que estas contracciones pueden ser ventajosas para la recuperación debido a que el incremento del flujo sanguíneo asociado a las contracciones puede acelerar la reparación del tejido muscular. No obstante, los pocos estudios realizados indican que la electroestimulación no mejora el proceso de recuperación (Lattier *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2004). Actualmente, también se utiliza como medio de recuperación la electroterapia de alta frecuencia, que consiste en la aplicación de ultrasonidos, microondas o radar, rayos infrarrojos y rayos ultravioleta.

Medios bioquímicos y/o nutricionales

Actualmente son numerosas las **estrategias nutricionales** sugeridas para acelerar el proceso de recuperación de los deportistas y para incrementar el rendimiento deportivo. Entre las estrategias de mayor utilidad están la

hidratación, la reposición de sustratos energéticos y la ingesta de antioxidantes.

La deshidratación previa tiene efectos negativos para el rendimiento (Armstrong *et al.*, 1985). Por tanto, la **rehidratación** después de las sesiones de entrenamiento es una estrategia apropiada para asegurar que la capacidad de trabajo no se encuentre disminuida al comienzo de la siguiente sesión. Al respecto, después de una deshidratación correspondiente al 2% del peso corporal, la ingesta adecuada de bebida tanto de volumen como de contenido en sodio permite restaurar el volumen de plasma después de 4 h (Shirreffs *et al.*, 1996) y, por consiguiente, realizar sesiones de mañana y tarde sin que se vea deteriorado el rendimiento.

Hay que considerar que las pérdidas obligatorias de orina persisten aun en estado de deshidratación, asegurando la eliminación de productos metabólicos de desecho. Por tanto, el consumo total de líquido después del ejercicio debe ser un volumen mayor a la cantidad de sudor perdida (Shirreffs y Maughan, 2000). Un ejercicio cuya intensidad sea el 75% del VO_2 máx. puede generar una tasa de pérdida del sudor del orden de 2 litros a la hora (Reilly y Cable, 2001), de ahí que se recomienda consumir del 150% al 200% de la pérdida de líquidos para compensar las pérdidas por orina (Shirreffs *et al.*, 1996; Mitchell *et al.*, 1994). El consumo de agua pura después del ejercicio reduce el estímulo de la sed y estimula la producción de orina (Nose *et al.*, 1990). El grado de conservación de líquido después del ejercicio aumenta cuando se consumen bebidas con una mayor concentración de sodio ($>50 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) (Maughan y Leiper, 1995). No obstante, la recuperación de líquidos después del ejercicio también puede realizarse con agua pura si se consume con una comida que contenga suficientes cantidades de sodio (Maughan *et al.*, 1996).

Así pues, para que haya una adecuada recuperación de líquidos en el organismo, es importante recuperar las pérdidas de sodio, ya que una de las principales alteraciones por calor es la hiponatremia, una alteración del equilibrio hidroelectrolítico que determina una concentración anormalmente baja de sodio en plasma $<135 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (lo normal es un intervalo de 136 a $142 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), que puede llegar a provocar una rápida y peligrosa inflamación del cerebro capaz de provocar ataques, coma e incluso la muerte. Parece ser que un consumo excesivo de líquido junto con grandes pérdidas de sodio por sudoración son las principales causas de muchos casos de hiponatremia.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Los deportistas que entrenan y compiten intensamente durante tiempos prolongados y a temperaturas elevadas son los que presentan mayor riesgo de presentar esta patología. Es importante que los atletas que tengan grandes pérdidas por sudoración incrementen su consumo de sodio en la dieta y eviten la sobrehidratación, ingiriendo después del ejercicio 750 ml de agua por cada 500 g de peso corporal perdido.

Se ha sugerido que la **reposición de hidratos de carbono** debe producirse en las primeras horas de recuperación después de una competición y/o entrenamiento. Este aspecto es relevante durante todo el proceso de entrenamiento con el fin de poder realizar un trabajo de mayor intensidad. A este respecto, Burke *et al.*, (2004), en su trabajo de revisión, establecieron que después de un esfuerzo que agote los depósitos de hidratos de carbono, su reposición en las primeras 24 h de recuperación será mayor cuanto mayor sea la ingesta de hidratos de carbono, al menos hasta que se alcance el umbral de almacenamiento del músculo, ~12-13 g por kilogramo de masa corporal al día (figura 2.31). Es relevante que un alto grado de la ingesta de hidratos de carbono se realice en la primera hora de recuperación debido a que la mayor activación de la glucogenosintasa produce un incremento de la reposición de glucógeno muscular (Ivy *et al.*, 1988) (figura 2.32). La reposición temprana de hidratos de carbono es de especial relevancia cuando entre sesiones de entrenamiento y/o competiciones existe un período de recuperación inferior a 8 h. Para un período de recuperación superior, no parece que haya diferencias en el restablecimiento de los depósitos de glucógeno entre una ingesta temprana o tardía de hidratos de carbono, pudiendo el deportista seleccionar una ingesta más cómoda (Parkin *et al.*, 1997). Habitualmente se recomienda consumir alrededor de 2 g por kg de peso corporal de hidratos de carbono (simples, complejos o combinados) en las 2 h siguientes al ejercicio, continuando el aporte de hidratos de carbono cada 2 h en las 6 h siguientes al ejercicio. El consumo de hidratos de carbono puede ser a partir de suplementos o alimentos. Algunas investigaciones sugieren que el consumo de proteínas junto con el de hidratos de carbono aumenta la respuesta de la insulina ocasionando una mayor resíntesis del glucógeno (Ivy, 1998). Sin embargo, estudios posteriores han demostrado que, si se consumen suficientes hidratos de carbono (1,2 g por kilogramo por hora) a intervalos de 15-30 min en las primeras 2-5 h de recuperación, la suplementación con proteínas no produce un incremento adicional de la reposición del glucógeno muscular. No obstante, si no se ingieren alimentos o el consumo de hidratos

de carbono es muy bajo, la ingesta de proteínas o aminoácidos específicos durante la recuperación del ejercicio prolongado puede acelerar la resíntesis del glucógeno (Wilkinson *et al.*, 2006).

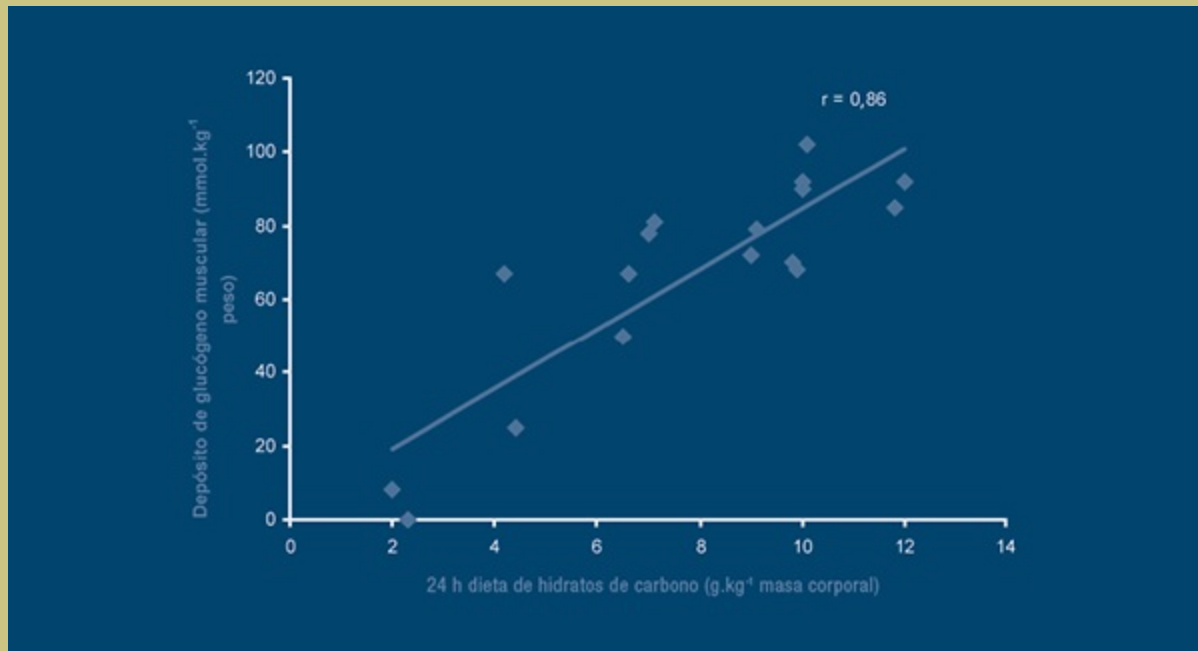


FIGURA 2.31. Relación entre la ingesta de hidratos de carbono durante 24 h de recuperación y el almacenamiento de glucógeno muscular. En esta recopilación de estudios existe una clara relación entre la cantidad de hidratos de carbono ingeridos en las primeras 24 h de recuperación y los depósitos de hidratos de carbono almacenados en el organismo. Esta relación resalta la importancia que para las modalidades deportivas que requieren este sustrato energético tiene una adecuada ingesta para facilitar la recuperación, realizar entrenamientos de mayor intensidad y mejorar el rendimiento deportivo.

Adaptado de Burke LM et al. J Sports Sci 2004;22:15-30.

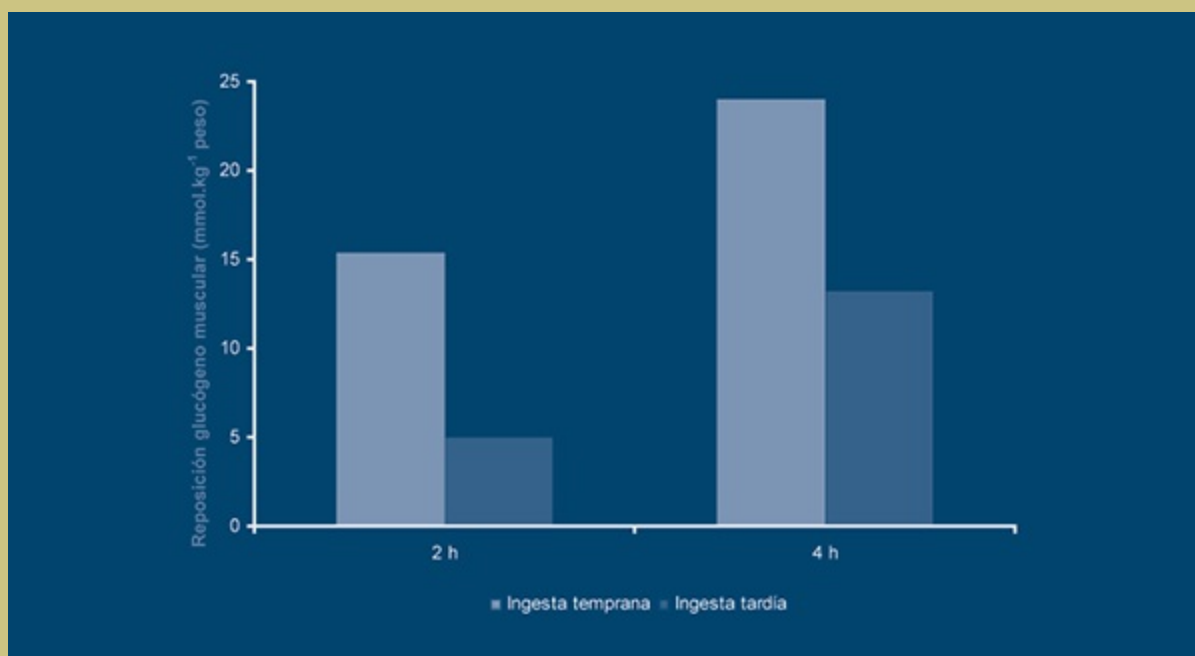


FIGURA 2.32. Relación entre una ingesta temprana y tardía de hidratos de carbono y la reposición de glucógeno muscular a las 2 y 4 h de recuperación. Una adecuada ingesta de hidratos de carbono en el período de recuperación debe considerar, además de la cantidad, su aporte nada más terminar el esfuerzo. Este ejemplo muestra diferencias significativas en la reposición del glucógeno muscular durante las 2 y 4 h postesfuerzo entre un grupo que realizó una ingesta temprana (inmediatamente) y otro grupo que realizó la misma ingesta tardía (2 h postesfuerzo). Considérese la importancia de estos resultados cuando se realiza más de una sesión o competición al día.

Adaptado de Ivy JL et al. J Appl Physiol 1988;64:1480-5.

En los deportistas que realizan entrenamiento para aumentar su masa muscular, la **ingesta de proteínas** es una práctica comúnmente indicada. La ingesta de compuestos proteicos (especialmente aminoácidos de cadena ramificada) debe considerarse a partir del aporte de proteínas derivado de la dieta del deportista. Con este objetivo, se recomienda la ingesta de entre 2 y 3,5 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día, a pesar de que en algunos foros se ha indicado que estas dosis pueden condicionar el metabolismo hepático. Sin embargo, no existe evidencia científica que apunte en este sentido (Tipton y Wolfe, 2004). Otras actividades deportivas como las de resistencia requieren una ingesta proteica diaria de entre 1,4 y 1,7 g por kilogramo de peso corporal. El momento en el que se produce la ingesta en relación con la finalización del ejercicio es otro factor a considerar. Así, todo

parece indicar que la ingesta de compuestos proteicos justo al finalizar el esfuerzo (entrenamiento de fuerza) consigue mejorar a largo plazo la masa muscular y la capacidad de los músculos para generar tensión (Esmarck *et al.*, 2001). A esto hay que añadir que, una vez administrados los aminoácidos tras el entrenamiento de fuerza, su absorción es mucho mayor en la primera hora, disminuyendo en las 2 h siguientes (Miller *et al.*, 2003).

Al margen de la ingesta de hidratos de carbono y proteínas, en los últimos años se ha prestado cierta atención al uso de **antioxidantes** con el objetivo de limitar el estrés oxidativo derivado del ejercicio y así mejorar el proceso de recuperación del deportista. Aunque son muchos los estudios que se han realizado, hasta el momento no se ha definido con claridad la necesidad de utilizar antioxidantes adicionales a los incluidos en la dieta (Urso y Clarkson, 2003). Dos de los principales antioxidantes son las vitaminas C y E. Jakeman y Maxwell (1993) observaron que los sujetos suplementados con 400 mg de vitamina C durante 21 días recuperaron más rápidamente su capacidad para generar tensión muscular que los que tomaron 400 mg de vitamina E o un placebo. Como conclusión, estos autores señalaron que la vitamina C puede proteger las estructuras celulares del estrés oxidativo, especialmente el retículo sarcoplasmático. Por su parte, Peters *et al.*, (2001ab) encontraron que una suplementación con vitamina C atenuó la respuesta de hormonas inmunosupresoras (cortisol y adrenalina) al ejercicio. En lo que a la vitamina E se refiere, Itoh *et al.*, (2000), tras someter a un grupo de sujetos a un ejercicio extenuante durante 6 días, encontraron que 4 semanas con una suplementación de 1.200 UI de vitamina E al día redujeron la concentración sanguínea de enzimas musculares en respuesta al ejercicio. Sin embargo, resultados obtenidos en estudios como los efectuados por Niess *et al.*, (2000) no asignan un papel modulador del proceso inflamatorio postesfuerzo a la vitamina E. En cualquier caso, la dosis que de estas dos vitaminas se administran normalmente a los deportistas se sitúa entre 300 mg y 3 g diarios, siendo necesario un período de suplementación de entre 3 y 6 semanas (Urso y Clarkson, 2003). Otros antioxidantes son la coenzima Q-10 (Nielson *et al.*, 1999), la N-acetilcisteína (Childs *et al.*, 2001) y algunos compuestos derivados de plantas como *Phlebodium Decumanum* (Punzón *et al.*, 2003).

Recuperación invisible

Uno de los elementos básicos a tener en cuenta en la recuperación de los

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

deportistas es el propio **descanso**, siendo la cantidad y calidad del sueño los aspectos en los que se pone más atención. No obstante, las relaciones específicas entre el sueño y el rendimiento no parecen constituir un campo preferente y actual de investigación en el ámbito deportivo (García-Mas, 2003).

La calidad del sueño percibida por los deportistas parece ser el enfoque ideal a la hora de evaluar su efecto recuperador. Una de las causas por las que se debe afrontar este tipo de evaluación es la existencia de discordancias entre la preferencia de los deportistas en cuanto a sus ciclos y hábitos de actividad y descanso (matutinidad y vespertinidad) y los horarios en los que se entrenan, compiten y descansan, algo que puede afectar su rendimiento deportivo (Savis, 1994).

Factores como la restricción del sueño (privación), su alteración (disrupción) y los efectos del *jet lag* (modificación de los ritmos circadianos) son los que definen en cierta forma la calidad del sueño (Samuels, 2008). Otros factores a considerar son la latencia o tiempo hasta conseguir dormir, la higiene del sueño o el consumo de sustancias favorecedoras o limitadoras del sueño, el recuerdo de lo soñado e incluso la somnolencia diurna (García-Mas, 2003). Estos autores han observado en este sentido que los deportistas más maduros y que, por tanto, participan en competiciones y entrenamientos de más nivel y dureza, responsabilidad e importancia reducen sus horas de sueño, perdiendo éste su calidad en la misma medida.

Así pues, las recomendaciones sobre el sueño deben atender a las preferencias personales de cada deportista y su percepción sobre la forma en la que, según su consideración, se consigue una mayor calidad de aquél.

Por último, el empleo del tiempo libre del deportista en actividades netamente diferentes a la práctica deportiva (evasión) y que además consigan modificar su estado de ánimo puede ser otro de los medios que permitan o faciliten su recuperación. Actividades como las artísticas, el paseo, la lectura, el cine y la música se presentan como herramientas útiles para emplear como alternativa o complemento a los medios clásicos de recuperación. En cuanto a la música, se ha demostrado que su audición produce en el deportista una menor sensación de esfuerzo percibido en ejercicios submáximos, de manera que la música ejerce en ellos cierto efecto euforizante y retardador de la fatiga (Karageorghis y Ferry, 1997). Este efecto parece que se puede explicar, por un lado, mediante las teorías psicológicas de la “percepción selectiva” (Broadbent, 1958) y de la “atención focalizada” (Hernández-Peon, 1961),

según las cuales el sistema nervioso puede atender únicamente a un estímulo (musical, en este caso) a expensas de discriminar los restantes estímulos envolventes (Copeland y Franks, 1991). Por otro lado, y dado que la música genera una disminución de hormonas de estrés, algo que favorece la recuperación (Möckel *et al.*, 1994), parece lógico pensar en su inclusión en los planes de recuperación del deportista.

Síntesis

- Aunque en la concreción del proceso de entrenamiento tradicionalmente se ha prestado más atención a la magnitud del estímulo, el período de recuperación como proceso de restablecimiento del estado funcional y psicológico del deportista después de la aplicación de uno o varios estímulos de entrenamiento es el que permite obtener sucesivamente nuevos niveles de supercompensación.
- Conocer el período de recuperación requerido después de la aplicación de estímulos de entrenamiento de distinta magnitud y orientación es básico para programar la secuencia y características de las sesiones de entrenamiento tanto para los deportistas para los que se persigue la sucesiva supercompensación como para aquellos que persiguen una supercompensación de efecto acumulado.
- Aunque se ha establecido como referencia el tiempo de recuperación requerido para estímulos de entrenamiento de distinta magnitud y orientación, el período óptimo de recuperación únicamente puede establecerse mediante la continua supervisión del proceso de entrenamiento de cada deportista.
- Para establecer el período óptimo de recuperación, el entrenador puede ayudarse de la medición de diferentes indicadores objetivos y subjetivos de recuperación.
- Entre los indicadores subjetivos de recuperación destacan la valoración continuada de la percepción subjetiva de recuperación del deportista mediante la escala “Total Quality Recovery” y su percepción subjetiva en los períodos de entrenamiento más intensos mediante cuestionarios validados más completos.
- Entre los indicadores objetivos de recuperación destaca la valoración continuada de parámetros asociados al rendimiento del deportista como

la respuesta adecuada a estímulos de entrenamiento conocidos, la velocidad en series de resistencia y el nivel de fuerza determinado directa o indirectamente en saltos, aceleraciones, lanzamientos y levantamientos.

- En períodos intensos de entrenamiento, el entrenador puede apoyarse, para establecer el nivel de recuperación y asimilación de las cargas de entrenamiento, en la valoración de distintos parámetros fisiológicos habitualmente utilizados para prevenir el sobreentrenamiento, considerando estos indicadores complementarios de otros indicadores objetivos y subjetivos.
- El aumento del número y la exigencia de sesiones de entrenamiento y competiciones ha conducido a que los entrenadores utilicen distintos medios que faciliten y aceleren la recuperación de los deportistas. Entre ellos destacan medios activos como la actividad física aeróbica de baja intensidad, estiramientos y estrategias de relajación; medios físicos como el masaje, crioterapia, inmersión de contraste, termoterapia, sauna y electroestimulación, y medios nutricionales como la rehidratación y la ingestión de hidratos de carbono, proteínas y antioxidantes.
- Aunque los distintos medios de recuperación habitualmente utilizados por los deportistas pueden ser útiles como estrategia psicológica de bienestar y como alteración de la rutina de entrenamiento, la utilidad de la mayoría de estos medios para acelerar el proceso de recuperación ha sido poco estudiada, descontextualizada y con resultados que sugieren poca o nula eficacia.
- Los resultados encontrados sobre la efectividad de la actividad física aeróbica de baja intensidad como medio que facilita la recuperación son controvertidos debido a la utilización de distintos criterios metodológicos. Sin embargo, la evidencia actual determina su efectividad entre esfuerzos de elevada exigencia y corta duración cuando el período de recuperación entre esfuerzos es relativamente largo (varios minutos), por lo que podría ser útil para la recuperación entre diferentes esfuerzos realizados en una sesión de entrenamiento o una competición. Actualmente no hay pruebas de su eficacia entre sesiones de entrenamiento o competiciones separadas por un largo período de recuperación.
- La recuperación pasiva ha mostrado ser más eficaz entre esfuerzos de elevada exigencia y corta duración cuando el período de recuperación

entre esfuerzos es relativamente corto (varios segundos). Sin embargo, debido a que en las modalidades deportivas caracterizadas por la continua sucesión de esfuerzos de elevada intensidad y períodos de recuperación cortos la recuperación activa es inherente al contexto de competición, se recomienda su utilización en las sesiones de entrenamiento de estas características.

- ▶ No tenemos datos sobre el hecho de que los estiramientos sean beneficiosos a corto y largo plazo para la recuperación del deportista.
- ▶ Los medios psicológicos de relajación podrían ser útiles en algunos deportistas, al menos para reducir el nivel de activación y control del estrés, pero, que sepamos, no existe evidencia científica de su utilidad para acelerar el proceso de recuperación de los deportistas.
- ▶ Algunos resultados sugieren que el masaje sería útil para acelerar la recuperación entre competiciones y sesiones de entrenamiento de elevada exigencia; sin embargo, su evidencia científica es escasa, controvertida y con pocos estudios, que habitualmente han seguido un proceso experimental descontextualizado de la realidad del entrenamiento y la competición.
- ▶ El número de estudios que han investigado la eficacia de los medios de recuperación basados en la inmersión en agua se ha incrementado significativamente. Aun considerando las diferencias y deficiencias metodológicas, la evidencia actual sugiere que la crioterapia es un medio efectivo para facilitar la recuperación del deportista, mientras que la eficacia de la inmersión de contraste y de la termoterapia es escasa o nula.
- ▶ No es posible, debido a la falta de estudios, establecer si la sauna es un medio efectivo para facilitar la recuperación de los deportistas.
- ▶ Los pocos estudios que han utilizado la electroestimulación en deportistas no lesionados sugieren que este medio no es efectivo para facilitar el proceso de recuperación.
- ▶ Existe evidencia científica para considerar la hidratación un medio efectivo de recuperación entre distintos esfuerzos de una sesión de entrenamiento y entre sesiones separadas por poco tiempo. Estos criterios también son aplicables a la ingestión de hidratos de carbono entre sesiones y competiciones sucesivas que requieran un elevado grado de depleción de sus depósitos. La ingestión de proteínas postesfuerzo en cantidad apropiada para cada modalidad deportiva es efectiva, al menos

como medio de incrementar el rendimiento a largo plazo. Actualmente no existe evidencia científica clara para el suministro de antioxidantes adicionales a los incluidos en la dieta para facilitar la recuperación del deportista.

- Aunque sin evidencia científica definida, parece coherente establecer que un adecuado ritmo de vida basado en hábitos saludables constituye un medio de recuperación invisible imprescindible para someter al deportista a los sucesivos estímulos de entrenamiento de elevada exigencia.

Cuestionario de asimilación

1. Indica el objetivo principal que se persigue con el período de recuperación después de la aplicación de un determinado estímulo de entrenamiento.
2. Indica el período óptimo de recuperación que se ha establecido para los principales objetivos de entrenamiento.
3. Indica el período óptimo de recuperación que se ha establecido según la magnitud del estímulo de entrenamiento.
4. Establece la estrategia que consideras adecuada para controlar el período óptimo de recuperación entre sesiones de entrenamiento.
5. Identifica y justifica la utilidad de los distintos indicadores de recuperación.
6. Indica los medios de recuperación habitualmente utilizados para acelerar la recuperación de los deportistas.
7. Establece en qué situaciones asociadas al proceso de entrenamiento utilizarías recuperación pasiva y recuperación activa asociada a un esfuerzo aeróbico de baja intensidad.
8. Sobre la base de la evidencia científica actual ¿qué medios físicos de recuperación utilizarías con tus deportistas?
9. Indica las estrategias nutricionales que utilizarías como medio de recuperación con deportistas que compiten y entrenan con esfuerzos intensos continuos o intermitentes de larga duración.

- 10.** Indica las estrategias nutricionales que utilizarías como medio de recuperación para deportistas que compiten y entrenan con esfuerzos que requieren niveles exigentes de fuerza.
- 11.** Establece qué consideras como recuperación invisible.

4

Desequilibrio entre el estímulo y la recuperación

Alejandro Legaz-Arrese, Francisco Pradas de la Fuente, Luis Carrasco Páez

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer que una inadecuada relación entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación conduce a una pérdida inevitable de rendimiento.
- Diferenciar entre un estado de fatiga controlado de corta duración que conduce a adaptaciones funcionales y un estado de fatiga de larga duración que provoca sobreentrenamiento.
- Conocer los principales síntomas asociados al sobreentrenamiento.
- Comprender que el continuo control del proceso de entrenamiento es la metodología más adecuada para prevenir el sobreentrenamiento.
- Comprender la importancia de programar estímulos de entrenamiento durante períodos de vacaciones y en los deportistas lesionados.
- Conocer la importancia que tiene establecer el ritmo de desadaptación de los distintos objetivos de entrenamiento para la programación del entrenamiento.

Índice

4.1. Sobreentrenamiento

4.2. Reversibilidad de la adaptación

Reversibilidad asociada a la interrupción del entrenamiento

Reversibilidad asociada a la distribución de los contenidos: efecto residual

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El lector es consciente de la importancia de controlar el estímulo de entrenamiento y sus efectos durante el período de recuperación. En este apartado se refuerza la necesidad de utilizar las herramientas que permiten controlar el proceso de entrenamiento, mostrando la evidencia científica de los efectos que sobre el rendimiento y la adaptación provoca un desequilibrio por exceso o por defecto entre la magnitud del estímulo de entrenamiento y la recuperación requerida.

4.1. Sobreentrenamiento

En el período de entrenamiento y competición, los requerimientos del organismo son intensos y se mantienen a lo largo del tiempo, obligando a establecer unos períodos de recuperación y regeneración tisular que, si no son respetados, causan una **supercompensación negativa** asociada a una disminución progresiva del nivel de rendimiento (figura 2.33).

La preparación del deportista tiene como finalidad la planificación de los estímulos del entrenamiento con miras al objetivo fundamental que es la competición, intercalando entre las cargas de entrenamiento períodos de recuperación adecuados y controlados para enfrentarse a la competición en las mejores condiciones y así obtener el óptimo rendimiento. La dificultad estriba en establecer la diferencia entre entrenar lo justo para conseguir el mejor estado de prestación posible sin perjudicar la salud y realizar una preparación excesiva, que puede provocar daño muscular, lesiones, sobrecargas o una combinación de estos procesos, abocando al sujeto a una situación de fatiga crónica y finalmente sobreentrenamiento (Foster, 1997). Así, si durante varias semanas la relación entre el entrenamiento o la competición y la recuperación se va desequilibrando, se presenta un cuadro sistémico de fatiga como resultado de un largo e intenso proceso de entrenamiento que ocasiona un estado permanente de fatiga y finalmente un sobreentrenamiento.

En la literatura existen diferentes términos que pueden confundir el concepto de síndrome de sobreentrenamiento. En un esfuerzo por clarificar la terminología, The European College of Sports Science distinguió entre “sobrecarga funcional”, “sobrecarga no funcional” y “síndrome de sobreentrenamiento” (Meeusen *et al.*, 2006). **“Sobrecarga”** se refiere a una acumulación de estrés, causado o no por el entrenamiento, que provoca una

disminución a corto plazo de la capacidad de rendimiento. Puede estar o no asociada a signos fisiológicos y psicológicos y a síntomas de sobreentrenamiento. La restauración de la capacidad de rendimiento puede tardar de varios días a varias semanas. **“Sobrecarga funcional”** es un término utilizado de vez en cuando por los atletas durante un ciclo de entrenamiento cuando esperan que su capacidad de rendimiento mejore más que después de un ciclo de entrenamiento normal. Este tipo de ciclo de entrenamiento es controlado y, como se ha indicado, necesario para inducir adaptaciones en deportistas con elevada reserva actual de adaptación mediante una **supercompensación de efecto acumulado**. Puedes encontrar un claro ejemplo real de supercompensación positiva de efecto acumulado en el trabajo de Coutts *et al.*, (2007) (figura 2.25). En cambio, si la intensificación del entrenamiento continúa, el atleta puede desarrollar un estado extremo de “sobrecarga”, por ejemplo **“sobrecarga no funcional”**, que conducirá al estancamiento o a una disminución de la capacidad de rendimiento, que no se recuperará durante varias semanas. **“Síndrome de sobreentrenamiento”** se define por lo general como una acumulación de estrés, debido o no al entrenamiento, que causa la **disminución a largo plazo de la capacidad de rendimiento** con o sin signos fisiológicos y psicológicos relacionados y síntomas de sobreentrenamiento, pudiendo tardar en restaurarse la capacidad de rendimiento varias semanas o meses. El síndrome de sobreentrenamiento representa el punto final del continuo del sobreentrenamiento y es relativamente raro, al menos en la literatura científica.

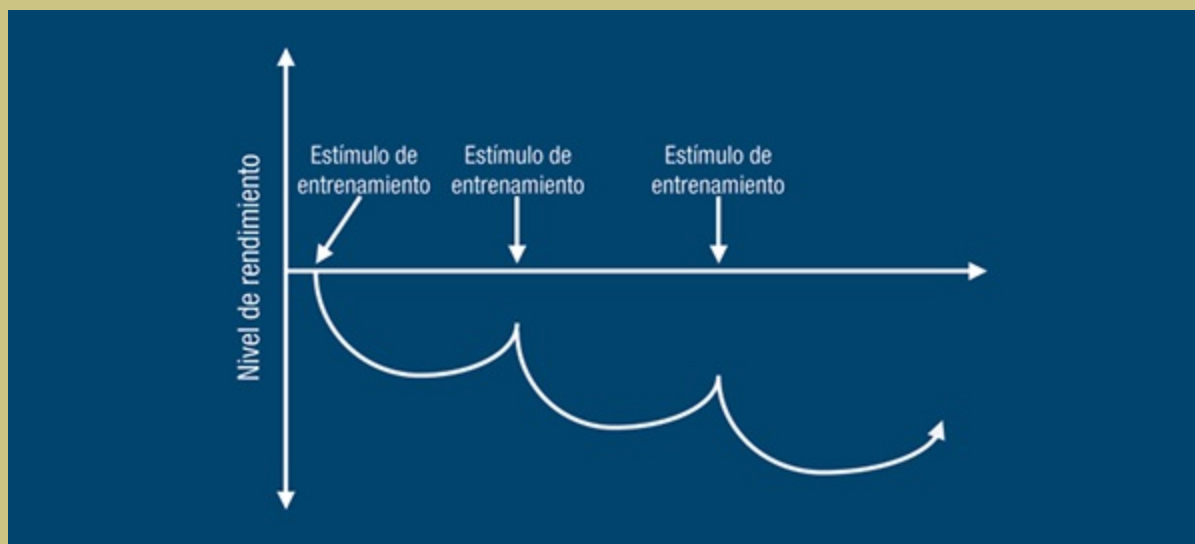


FIGURA 2.33. Supercompensación negativa inducida por un desequilibrio entre la fatiga y el período de recuperación. Has podido comprobar que la supercompensación de efecto acumulado requiere un período de recuperación después de un período de entrenamiento exigente. Obsérvese en esta figura que la ausencia de un período de recuperación causa inevitablemente una disminución del rendimiento y puede conducir a un estado de sobreentrenamiento.

Adaptado de Siff M y Verhoshansky Y. Superentrenamiento. Paidotribo, 2000.

Existen múltiples teorías e hipótesis, no unificadas, para explicar adecuadamente los mecanismos y cambios que se asocian al desencadenamiento del sobreentrenamiento (Lakier, 2000). De entre las diferentes hipótesis, podemos citar la sugerida por la dominancia del sistema nervioso simpático o por su antagonista, el sistema nervioso parasimpático (Israel, 1998), o bien la teoría del estrés con estresores que generan un estado de resistencia (fase de alarma) y las adaptaciones producidas por la resistencia del cuerpo (fase de resistencia). Algunos investigadores destacan la disminución de los niveles circulantes del triptófano (Newsholme *et al.*, 1991), otros abogan por la hipótesis de las citocinas, sugiriendo que el ejercicio induce microtraumatismos en el sistema músculoesquelético provocando una respuesta inflamatoria local. Si hay una recuperación inadecuada se inicia el desarrollo del sobreentrenamiento, haciéndose esta inflamación local crónica, con la consiguiente descarga de mediadores inflamatorios y de citocinas que causan la inflamación sistémica (Steinberg *et al.*, 2007; Lakier, 2000; Smith, 2000).

Los **síntomas** que se han descrito en deportistas diagnosticados con **síndrome de sobreentrenamiento** son muy variables e incluso contrapuestos, pudiendo sufrir insomnio o hipersomnia, bradicardia o taquicardia, apatía o irritabilidad, aumento o disminución del metabolismo basal, etc. Habitualmente se ha asociado también el síndrome de sobreentrenamiento con alteraciones de la concentración basal o de la respuesta al esfuerzo de varias hormonas (catecolaminas, hormonas tiroideas, cortisol, etc.), aminoácidos (glutamina), enzimas (transaminasas y creatincinasa principalmente) y citocinas (interleucina-6). En la tabla 2.5 se establece una secuencia de los síntomas habituales en el síndrome de sobreentrenamiento (Lakier, 2003). El cumplimiento de varios de los síntomas es requisito básico para pensar en su diagnóstico. Aunque se han observado repetidamente variaciones bioquímicas en el síndrome de sobreentrenamiento, la dificultad estriba en determinar un umbral límite de los diferentes parámetros. Realmente, cabe concluir que hay muchas opiniones diferentes sobre cada uno de los marcadores fisiológicos que han sido investigados. En consecuencia, no se ha identificado medida específica alguna que mida con exactitud cómo se adapta y responde al programa de entrenamiento un atleta (Borresen y Lambert, 2008).

TABLA 2.5. Signos y síntomas asociados con el síndrome de sobreentrenamiento

<i>Rendimiento fisiológico</i>
Descenso del rendimiento
Incapacidad para alcanzar rendimientos previos obtenidos
Recuperaciones prolongadas
Descensos de los niveles de fuerza muscular
Descenso de la capacidad máxima de trabajo
Pérdidas de coordinación
Fatiga crónica
Insomnio y sudores nocturnos
Pérdida de apetito
<i>Procesamiento de la información</i>
Sentimientos de depresión
Apatía general
Inestabilidad emocional
Dificultad para concentrarse en el trabajo y entrenamiento
Miedo a la competición
<i>Sistema inmunitario</i>
Susceptibilidad aumentada a contraer infecciones y alergias
Procesos gripales
Heridas que sanan despacio
Infecciones bacterianas
<i>Bioquímica</i>
Equilibrio negativo de nitrógeno
Concentraciones disminuidas de glucógeno muscular
Depleción de minerales (cinc, cobalto, aluminio, selenio, cobre)
Cortisol elevado
Niveles bajos de testosterona libre

Adaptado de Lakier SL. Sports Med 2003;33:347-64.

Sin duda, el control, al menos en los períodos de entrenamiento más intensos, de varios de los **indicadores de recuperación** establecidos en el apartado 3.2 es el mejor método para **evitar el sobreentrenamiento** de los deportistas.

4.2. Reversibilidad de la adaptación

Reversibilidad asociada a la interrupción del entrenamiento

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

De la misma forma que la repetición continuada del proceso de supercompensación mediante estímulos adecuados de entrenamiento produce en el deportista adaptaciones a largo plazo, la interrupción del entrenamiento provoca una regresión de las adaptaciones obtenidas debido a que los efectos del entrenamiento son reversibles (figura 2.34).

La **reversibilidad de la adaptación** está ampliamente documentada en la literatura científica. Mujika y Padilla (2000a) nos presentan en un trabajo de revisión numerosos estudios con deportistas de elite que demuestran una desadaptación significativa de numerosos parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos y musculares **después de períodos largos de un entrenamiento insuficiente** (< 4 semanas). De hecho, es conocido el efecto de desadaptación cuando los deportistas de elite terminan su trayectoria deportiva de competición al máximo nivel. Como ejemplo, se muestra en 40 deportistas de elite la disminución del diámetro del ventrículo izquierdo después de varios años de dejar el entrenamiento de alto nivel (figura 2.35).

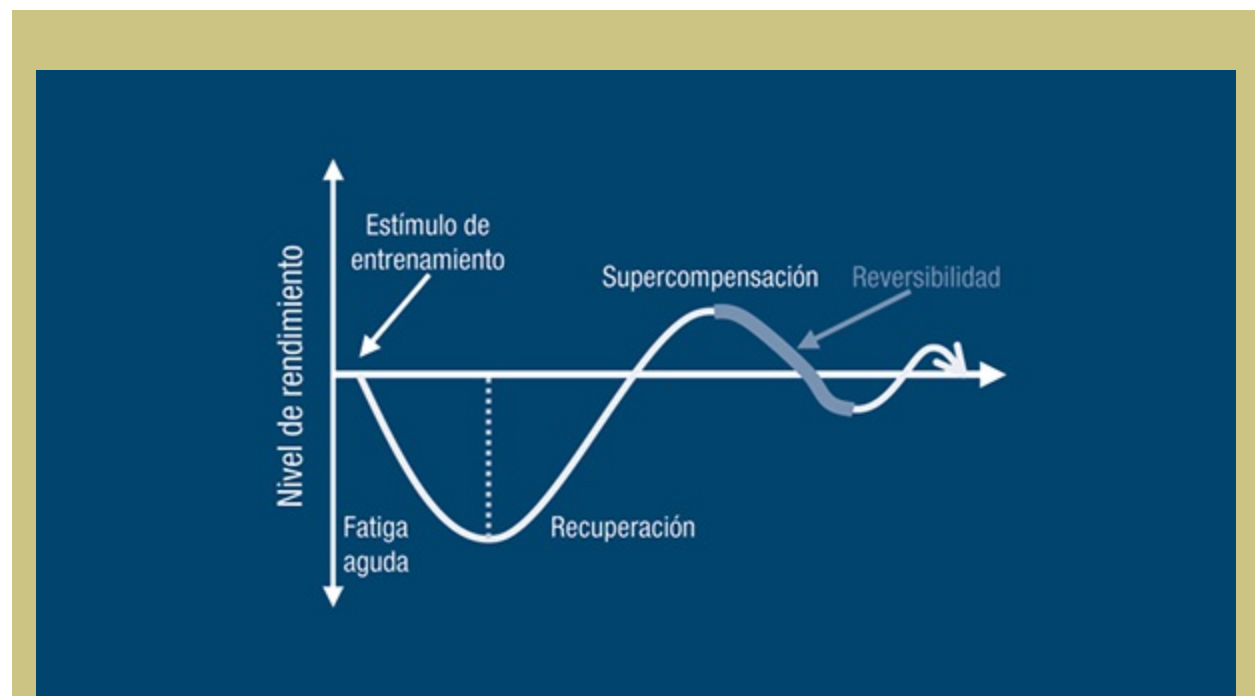


FIGURA 2.34. Reversibilidad de la adaptación si no aplicamos sucesivamente estímulos de entrenamiento. En esta figura se destaca, como ya es sabido, que si el estímulo de entrenamiento no es suficiente para inducir la supercompensación y/o se aplica con excesivo tiempo de recuperación, finalmente se perderán las adaptaciones conseguidas, asociándose a un nuevo equilibrio de homeostasis en un nivel de rendimiento inferior.

Original de los autores a partir de las fases descritas para el síndrome general de

Aun siendo de interés el desacondicionamiento de los deportistas de elite cuando abandonan temporal o definitivamente un programa sistemático de entrenamiento, lo más importante en el contexto de este manual es conocer las desadaptaciones que se producen en períodos cortos de tiempo como consecuencia de una reducción o interrupción del entrenamiento. Son numerosos los trabajos que han mostrado la reversibilidad de las adaptaciones de distintos procesos fisiológicos y morfológicos **después de períodos cortos de entrenamiento insuficiente** (< 4 semanas). A modo de resumen, presentamos en la tabla 2.6 una adaptación del trabajo de revisión realizado por Mújica y Padilla (2000b), donde se realiza un compendio de las principales desadaptaciones cardiorrespiratorias, metabólicas y musculares experimentadas en deportistas de elite tras un período de desentrenamiento inferior a 4 semanas. Un claro ejemplo de la reversibilidad durante períodos cortos de desadaptación se muestra en la figura 2.36. Además de las desadaptaciones de los distintos parámetros fisiológicos y morfológicos, debemos añadir el habitual incremento de peso que se observa en muchos deportistas tras la interrupción del entrenamiento, lo que provoca una obligada modificación posterior del programa de entrenamiento para que el deportista recupere su peso óptimo.

Habitualmente, en el desarrollo de un deportista de elite el entrenamiento es continuado, por lo que la importancia del conocimiento de la reversibilidad de los efectos del entrenamiento aparentemente sólo es aplicable a los períodos de convalecencia por una enfermedad o lesión y a la interrupción postemporada o período de transición. En ambas situaciones hemos presentado datos suficientes que determinan que la interrupción total de estímulos de entrenamiento va a producir una desadaptación excesiva que determina un desajuste posterior de la progresión de la prestación deportiva. Por ello, se recomienda la **continuidad del proceso de entrenamiento** en los períodos **de lesiones**, adaptándolo a las características de la lesión o enfermedad, así como establecer pautas educacionales y de entrenamiento durante los períodos **vacacionales**. Como ejemplo, resaltamos la importancia de entrenar con la extremidad saludable en los períodos de rehabilitación por la transferencia contralateral que se ha observado (Haaland y Hoff, 2003). Mujika y Padilla (2000b) establecen que mantener la intensidad de entrenamiento parece ser el factor crucial para la retención de las

adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento, mientras que el volumen puede ser disminuido un 60-90%, y la frecuencia de entrenamiento, un 20-30%, en deportistas de elite. Sin duda, estas recomendaciones deben constituir la base del programa de entrenamiento en el período de transición y en otros períodos vacacionales o de disminución del estímulo de entrenamiento.

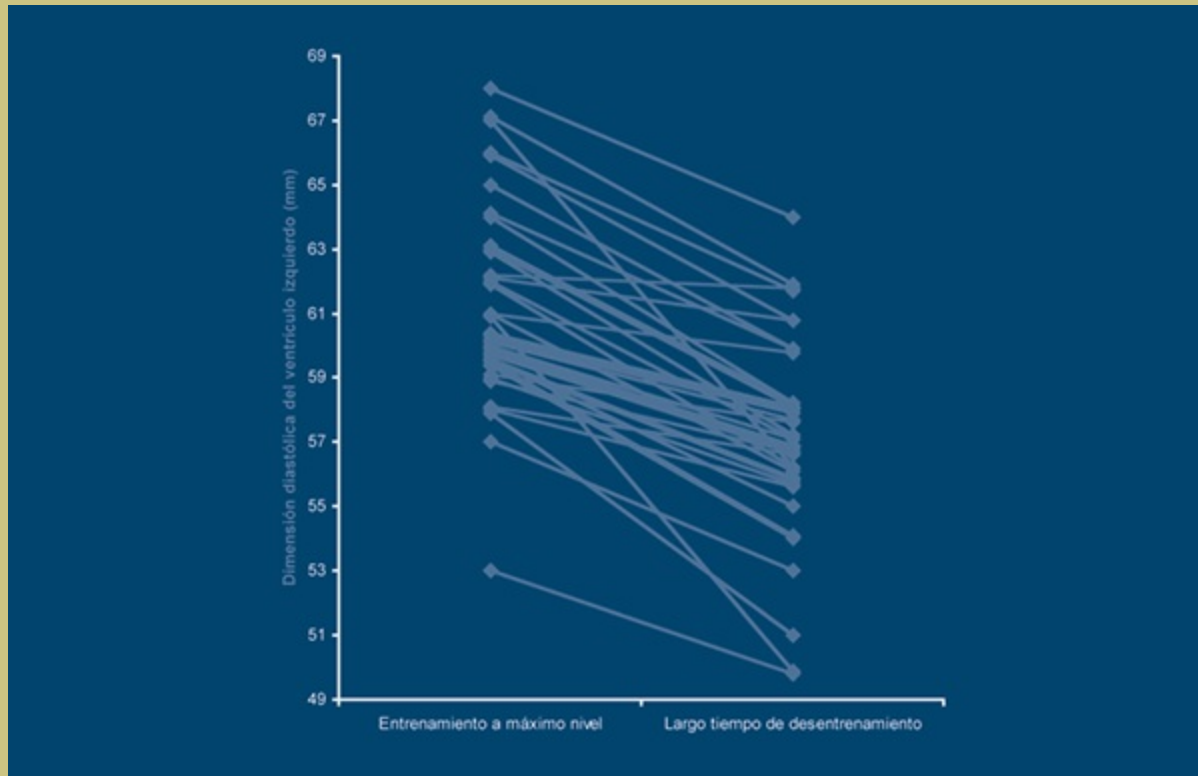


FIGURA 2.35. Cambios de la dimensión diastólica del ventrículo izquierdo en deportistas de elite después de varios años de desacondicionamiento. Obsérvese como ejemplo de reversibilidad de la adaptación durante un largo período de ausencia de entrenamiento intenso la disminución del tamaño del ventrículo izquierdo determinada en deportistas de elite cuando éstos dejaron de entrenar y competir a máximo nivel.

Adaptado de Pelliccia A et al. Circulation 2002;105:944-9.

TABLA 2.6. Efecto del desentrenamiento de corta duración (< 4 semanas) sobre los parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos y musculares en deportistas de elite

<i>Variable cardiorrespiratoria</i>	<i>Variable metabólica</i>	<i>Variable muscular</i>
↓ $\dot{V}O_2$ máx.	↑ <i>Ratio</i> respiratoria en esfuerzo máximo	↓ Densidad capilar
↓ Volumen de sangre	↑ <i>Ratio</i> respiratoria en esfuerzo submáximo	↓ Actividad de enzimas oxidativas
↑ Frecuencia cardíaca máxima	↓ Actividad de la lipoproteína lipasa	↓ Actividad de la glucogenosintetasa
↓ Frecuencia cardíaca submáxima	↓ Colesterol-HDL	↓ Superficie transversal de la fibra muscular
↓ Volumen latido en el ejercicio	↑ Colesterol-LDL	↓ Actividad electromiográfica
↓ Gasto cardíaco máximo	↑ Lactato en esfuerzo submáximo	↓ Fuerza
↓ Masa ventricular	↓ Umbral de lactato	
↑ Presión arterial	↓ Nivel de bicarbonato	
↓ Volumen máximo ventilatorio	↓ Glucógeno muscular	
↓ Pulso de oxígeno		
↑ Equivalente ventilatorio		
↓ Rendimiento en resistencia		

Adaptado de Mujika I y Padilla S. Sports Med 2000b;30:79-87.

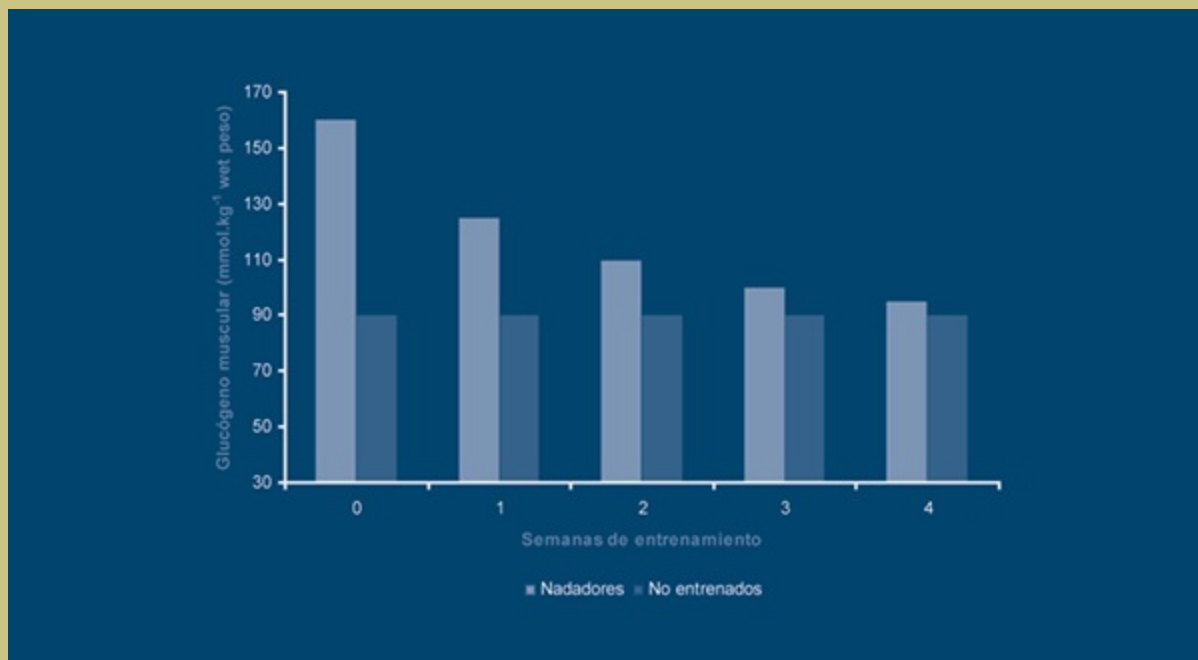


FIGURA 2.36. Alteraciones del depósito de glucógeno del músculo deltoides en nadadores de competición durante 4 semanas de desentrenamiento. Obsérvese en

este ejemplo que cuando no se aplica ningún estímulo de entrenamiento la reversibilidad de la adaptación es evidente en un período de tiempo muy breve. Considérese la importancia de aplicar estímulos de entrenamiento en los períodos vacacionales y a deportistas lesionados.

Elaborado con datos de Costill DL et al. Med Sci Sports Exerc 1985;17:339-43.

No debemos confundir un período de desentrenamiento, que implica un insuficiente estímulo de entrenamiento para mantener las adaptaciones inducidas por el proceso de entrenamiento (habitualmente por enfermedad, lesión y vacaciones), con lo que se conoce comúnmente como **“período taper”**, que podemos definir como una **reducción progresiva no lineal de la carga de entrenamiento** durante un período de tiempo variable en un intento de reducir el estrés fisiológico y psicológico del entrenamiento diario y de optimizar el rendimiento deportivo. Esta reducción del entrenamiento es habitual tras un período exigente de estímulo de entrenamiento con el fin de obtener supercompensación de efecto acumulado (véanse las figuras 2.24 y 2.25) y especialmente **previo a las competiciones principales**.

Reversibilidad asociada a la distribución de los contenidos: efecto residual

Aunque parezca contradictorio, más importante es la aplicación del principio de reversibilidad cuando no existe una interrupción del entrenamiento. De hecho, gran parte de los principios de los sistemas de planificación se basan en el conocimiento de la pérdida de las adaptaciones de los distintos objetivos del entrenamiento. Esta conceptualización es definida por Counsilman y Counsilman (1991) como **efecto residual**, entendido como la **retención de las adaptaciones** después de un compendio de muchas sesiones de entrenamiento. De hecho, muchas investigaciones han fracasado en el objetivo de determinar los efectos de un programa de entrenamiento debido a no haber tenido en consideración los efectos que sobre el rendimiento tienen las características del entrenamiento previo.

Así, por ejemplo, si para una óptima prestación en una determinada modalidad deportiva se requiere el desarrollo de una determinada capacidad, debemos conocer qué ritmo de pérdida tiene para cuantificar el tiempo máximo que podemos estar sin entrenar ese objetivo antes de la competición. Igualmente, se sabe que el desarrollo de unas capacidades se fundamenta en

el trabajo previo de otras; si no conocemos el ritmo de pérdida de estas últimas, no podremos saber cada cuanto tiempo es necesaria una nueva estimulación mediante cargas de entrenamiento para que se mantenga el efecto positivo del entrenamiento.

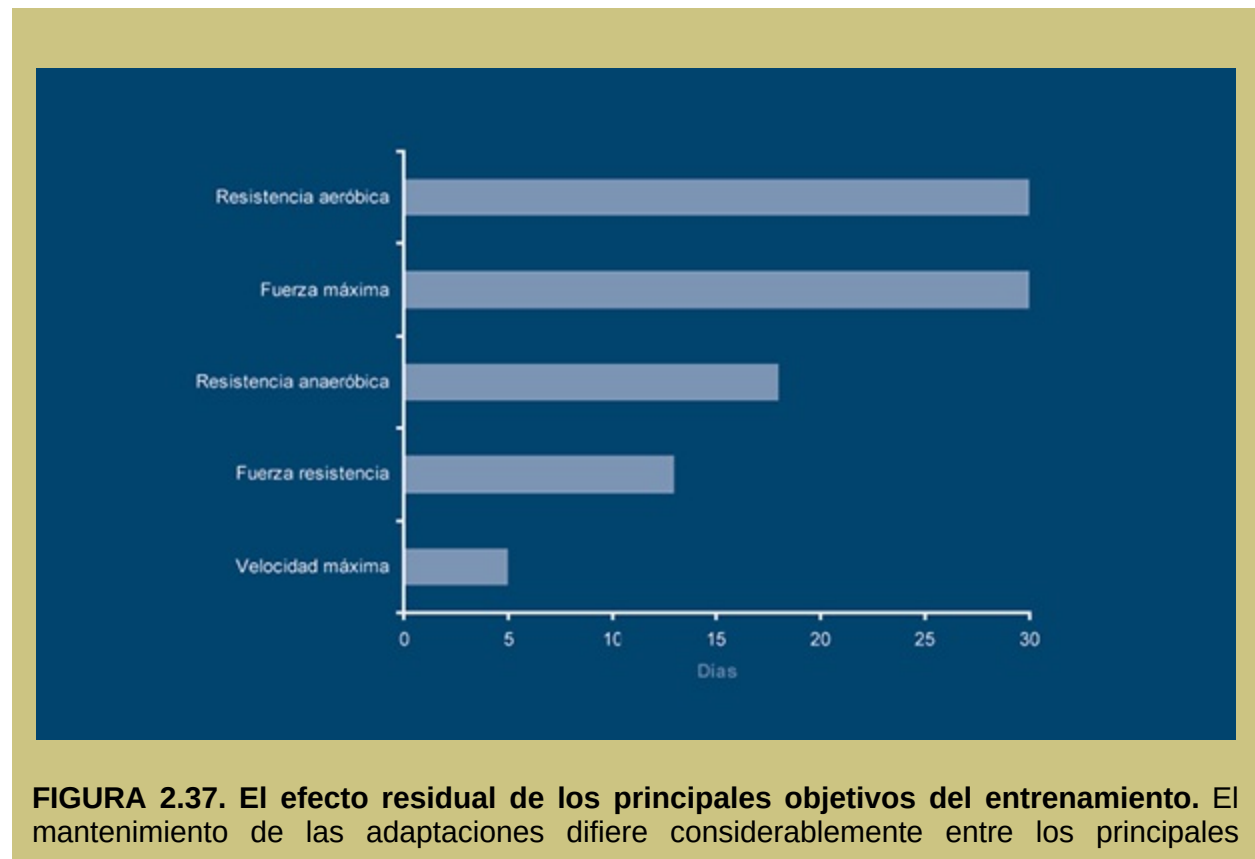
El efecto residual del entrenamiento es una de las características menos estudiadas de las reacciones y de la adaptación del deportista. De hecho, únicamente conocemos un estudio de hace unos años (Hellard *et al.*, 2005) que ha tratado de demostrar científicamente cómo los efectos acumulativos de entrenamiento determinaban el rendimiento en nadadores olímpicos. En concreto, los autores intentaron probar que un elevado volumen de entrenamiento tiene un efecto positivo a largo plazo sobre el rendimiento, mientras que una elevada intensidad de entrenamiento tiene un efecto positivo en un período corto de tiempo. Aunque consiguieron demostrar que un entrenamiento de baja intensidad tiene un efecto positivo sobre el rendimiento a largo plazo, sugiriendo que un importante volumen de entrenamiento a baja intensidad probablemente favorece los mecanismos fisiológicos necesarios para un entrenamiento posterior de elevada intensidad, la realidad es que tras un complejo análisis matemático las variables de cuantificación del entrenamiento sólo consiguieron explicar un 30% de la variación del rendimiento. Además, los autores encontraron una gran variabilidad en la relación del volumen y la intensidad del entrenamiento con el rendimiento, concluyendo que el programa de entrenamiento debe ser altamente individualizado.

Desafortunadamente, ni tan siquiera hay evidencia científica del ritmo de pérdida de las distintas capacidades tras una interrupción total del entrenamiento. En la mencionada revisión de Mujika y Padilla (2000a,b) los autores no centraron su objetivo en el ritmo de pérdida de los distintos procesos cardiorrespiratorios, metabólicos y musculares. En cualquier caso, aunque tuviésemos constancia del efecto residual de las distintas capacidades tras un período de interrupción del entrenamiento, esto no sería más que un ligero avance en el conocimiento sobre el proceso de entrenamiento, pues lo realmente interesante es conocer el efecto residual como un proceso continuo de entrenamiento a partir de los efectos acumulativos de éste, ya que sólo así podríamos tener una prueba de la **secuenciación de los objetivos de entrenamiento** en el marco de los distintos **modelos de planificación**. A pesar de la falta de evidencias científicas sobre el efecto residual, uno de los más reconocidos teóricos del entrenamiento deportivo nos presenta un

modelo teórico, basado en la experiencia práctica, del ritmo de pérdida de distintos procesos y parámetros musculoesqueléticos, neuromusculares y cardiocirculatorios (véase Issurin y Lustig, 2004), así como de los principales objetivos del entrenamiento (figura 2.37).

El **efecto residual** depende, además de la **capacidad de retención de los distintos sistemas**, de la **predisposición genética** del deportista y de aspectos determinantes del proceso del entrenamiento deportivo como la **transferencia positiva** y los **efectos acumulativos**. De esta forma, una misma capacidad tendrá mayor efecto residual si su desarrollo se ha basado en un trabajo precedente adecuado. Igualmente, el ritmo de pérdida de cualquier proceso de adaptación es mucho más rápido si éste se ha obtenido en un período de entrenamiento corto que si es fruto de un largo período de aplicación de estímulos.

El **efecto residual** de los principales objetivos del entrenamiento determina en gran medida la secuenciación de éstos en los sistemas de planificación con el fin de que todo el efecto acumulativo positivo del entrenamiento se concentre en la obtención de un **pico de prestación** en el momento de la competición (figura 2.38).



objetivos de entrenamiento. Este período es corto, incluso para los objetivos de entrenamiento con mayor efecto residual. Estos datos determinan que el período de tiempo que debe transcurrir sin entrenar un objetivo de entrenamiento no puede ser prolongado y que los objetivos con menor efecto residual deben desarrollar -se en los días previos a la competición.

Adaptado de Issurin V. SDS/Rivista di Cultura Sportiva 2002;56:6-9.

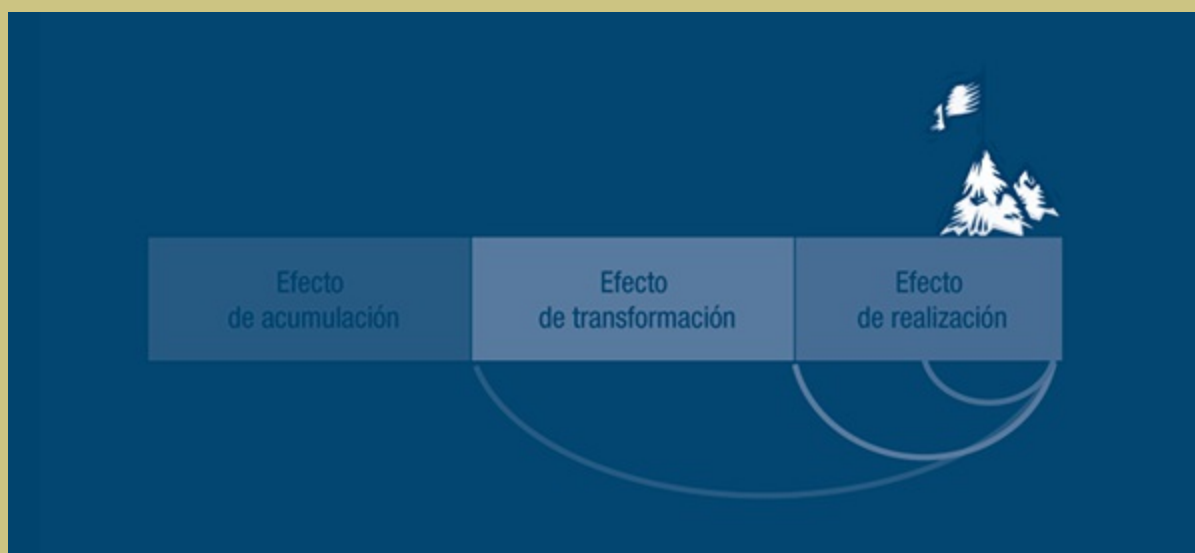


FIGURA 2.38. Estructura de un período de entrenamiento con 3 mesociclos en bloque con la posible coincidencia con la competición del efecto residual de distinta duración. El mesociclo es la estructura de planificación orientada al desarrollo de objetivos concretos. El efecto esperado de los 3 mesociclos característicos de un sistema de planificación contemporáneo (véase el capítulo 8) considera el mantenimiento del efecto residual hasta el día de la competición. Obsérvense las diferencias en el tiempo del efecto esperado de acumulación, transformación y realización. Estas diferencias son consecuentes con el efecto residual de los objetivos del entrenamiento entrenados en cada uno de estos 3 mesociclos.

Adaptado de Issurin V. SDS/Rivista di Cultura Sportiva 2002;56:6-9.

Síntesis

- El desequilibrio de la *ratio* óptima que para cada deportista debe existir entre el estímulo de entrenamiento y la recuperación produce una disminución del nivel de rendimiento, provocada por la sobrecarga y el sobreentrenamiento si aumenta la *ratio* y por la reversibilidad de las

adaptaciones si disminuye la *ratio*.

- El síndrome de sobreentrenamiento es un proceso complejo, con clara evidencia científica pero poco habitual, al menos en la literatura científica, que se produce como consecuencia de una acumulación de estrés, asociado o no al entrenamiento, durante un período de tiempo prolongado, que causa una pérdida de rendimiento que requiere para su recuperación varias semanas o meses.
- Cuando la acumulación de estrés es durante un período relativamente corto, se considera como sobrecarga *over-reaching*, y el nivel de rendimiento puede ser recuperado en varios días o semanas, siendo habitual su inducción controlada en deportistas con elevada reserva actual para estimular una supercompensación de efecto acumulado.
- El límite que determina una sobrecarga controlada del síndrome de sobreentrenamiento debe establecerse mediante el continuo análisis de los indicadores de recuperación del deportista y de la variedad de signos y síntomas fisiológicos y psicológicos que pueden aparecer con el sobreentrenamiento.
- La reversibilidad de la adaptación tiene sólida evidencia científica incluso después de períodos cortos de insuficiente entrenamiento. Esto determina la necesidad de definir y controlar el estímulo de entrenamiento en los períodos vacacionales y en el período de recuperación de un deportista lesionado.
- La reversibilidad de la adaptación tiene evidentes aplicaciones prácticas para la secuenciación de los objetivos de entrenamiento y para establecer el tiempo máximo que debe transcurrir sin aplicar estímulos orientados a un determinado objetivo de entrenamiento tanto en la programación del entrenamiento como en la preparación previa a la competición.
- El tiempo máximo que se mantienen las adaptaciones de los distintos objetivos de entrenamiento, definido como efecto residual, no tiene una sólida evidencia científica, sugiriéndose referencias en base a la evidencia empírica. Estas referencias determinan un efecto residual de ~1 mes para el rendimiento aeróbico y la fuerza máxima, de ~10-15 días para el rendimiento anaeróbico y de ~1 semana para el rendimiento anaeróbico aláctico.

Cuestionario de asimilación

1. Establece las diferencias entre un síndrome de sobreentrenamiento y una sobrecarga *over-reaching*.
2. Establece las diferencias entre una sobrecarga *over-reaching* funcional y no funcional.
3. Indica algunos de los signos y síntomas que pueden presentarse en el síndrome de sobreentrenamiento.
4. Establece las causas que pueden provocar una sobrecarga no funcional y un síndrome de sobreentrenamiento.
5. Indica diferentes estrategias que permitan prevenir el síndrome de sobreentrenamiento.
6. Establece algunas pautas para reducir la reversibilidad de la adaptación en deportistas lesionados.
7. Establece algunas pautas para reducir la reversibilidad de la adaptación en los períodos vacacionales.
8. Define el concepto de efecto residual de adaptación.
9. Establece las principales aplicaciones prácticas de conocer el efecto residual de adaptación de los distintos objetivos de entrenamiento.
10. Indica las diferencias de efecto residual de los principales objetivos de entrenamiento.

Factores de rendimiento y niveles del estímulo de entrenamiento

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender que para el desarrollo de los factores que determinan el rendimiento de una modalidad deportiva es necesario entrenar otros objetivos de entrenamiento.
- Conocer la relación entre los factores de rendimiento y los distintos niveles de entrenamiento.
- Comprender que para obtener un elevado nivel de prestación deportiva en un determinado momento se requiere el desarrollo secuencial de distintos niveles de entrenamiento.
- Conocer los distintos niveles de entrenamiento para los distintos objetivos de trabajo.

Índice

5.1. Factores de rendimiento específicos y básicos de los objetivos de entrenamiento

5.2. Relación entre los factores de rendimiento y los niveles de entrenamiento

Síntesis

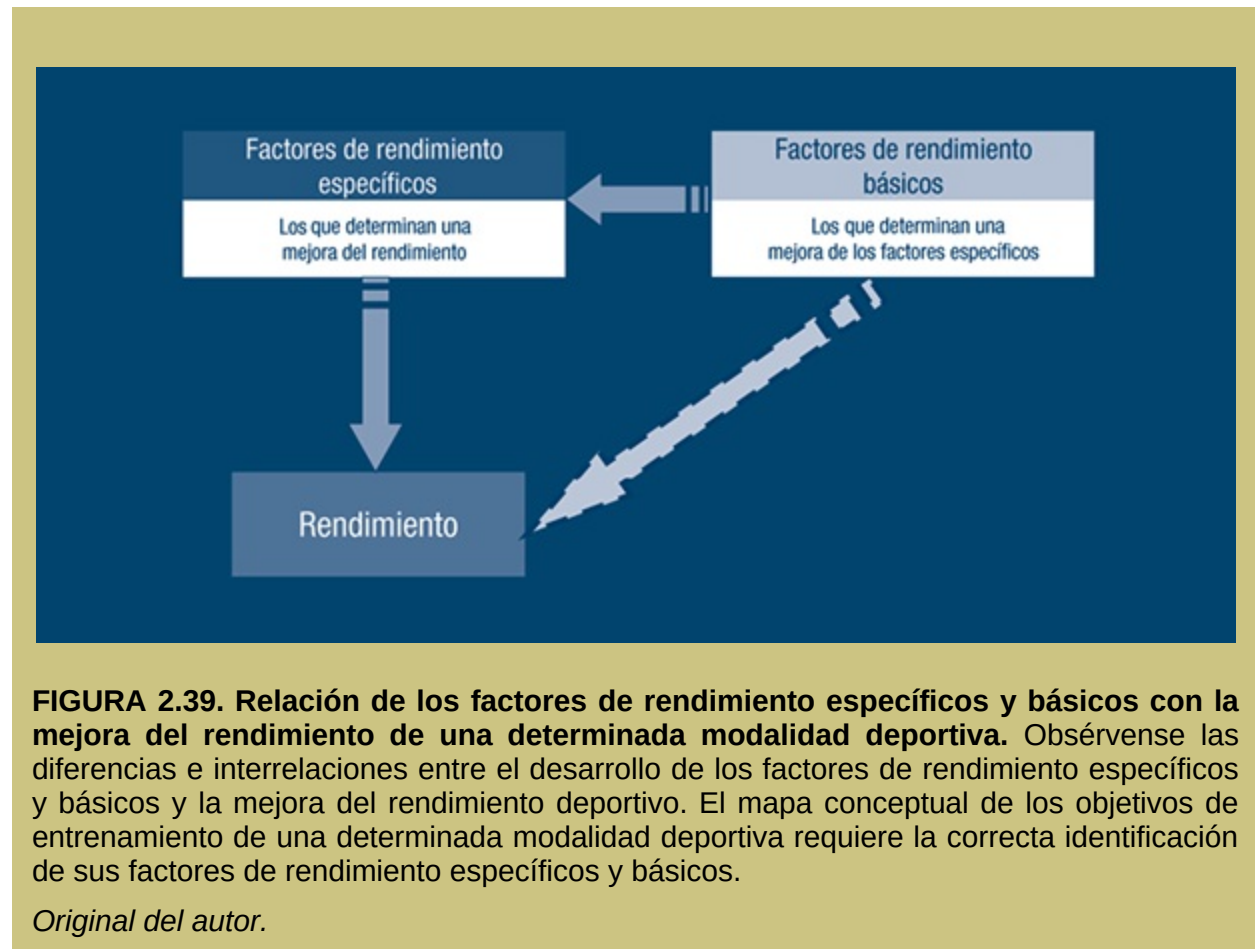
Cuestionario de asimilación

El proceso de entrenamiento necesita un adecuado control de la magnitud del estímulo y del período de recuperación. Pero, además, en este apartado se justifica que el estímulo de entrenamiento debe estar orientado al desarrollo de distintos objetivos, dependientes de cada modalidad deportiva, secuenciando en el tiempo una progresión del nivel de dificultad y especificidad. El nivel de dificultad y especificidad del estímulo define distintos niveles de entrenamiento, siendo su desarrollo progresivo el que permite al deportista alcanzar altas cotas de rendimiento en los momentos deseados. Los distintos niveles de entrenamiento constituyen el hilo conductor del desarrollo de los distintos factores que determinan el rendimiento de una modalidad deportiva y de los distintos sistemas de planificación, y, por tanto, el hilo conductor de este manual.

5.1. Factores de rendimiento específicos y básicos de los objetivos de entrenamiento

El objetivo final del proceso de entrenamiento es la mejora de los **factores de rendimiento específicos** asociados a una determinada modalidad deportiva. Se puede considerar que un factor de rendimiento es específico de una modalidad deportiva cuando su desarrollo produce teóricamente una **mejora directa del rendimiento**. Por ejemplo, la manifestación de fuerza explosiva puede considerarse factor de rendimiento específico para la ejecución de saltos, lanzamientos, golpes, etc. La resistencia a la fuerza explosiva puede considerarse factor de rendimiento específico de la mayoría de los esfuerzos intermitentes, como son los deportes de equipo, de raqueta y de combate. Igualmente, como se especifica en el capítulo 4, cabe definir factores de rendimiento específicos diferenciados en función de la distancia de competición de los esfuerzos continuos. Del mismo modo, cada modalidad deportiva está determinada por una ejecución motriz diferenciada en un determinado contexto informacional que determina su rendimiento. Desde esta perspectiva, como se ha indicado anteriormente, el estímulo de entrenamiento debe ser específico de los factores que determinan el rendimiento de las distintas modalidades deportivas. Sin embargo, y aunque parezca contradictorio, gran parte del tiempo de entrenamiento debe dedicarse a la mejora de factores inespecíficos, denominados habitualmente

factores de rendimiento básicos. Los **factores de rendimiento básicos** para una determinada modalidad deportiva son aquellos que, si bien su desarrollo no induce una mejora directa del rendimiento, permiten un mayor desarrollo de los factores de rendimiento específicos y, por tanto, determinan finalmente una **mejora indirecta del rendimiento** (figura 2.39).



En consecuencia, el desarrollo de los factores de rendimiento específicos ha de basarse en el trabajo previo de los factores de rendimiento básicos. En la figura 2.40 se muestran los factores de rendimiento básicos requeridos para el desarrollo de cada uno de los factores de rendimiento específicos establecidos en el **modelo básico de factores a desarrollar en el proceso de entrenamiento deportivo** (véase la figura 1.4).

5.2. Relación entre los factores de rendimiento y los niveles de entrenamiento

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

La relación entre los factores de rendimiento específicos y básicos determina los distintos **niveles de entrenamiento**: el nivel de entrenamiento **específico**, correspondiente al desarrollo de los factores de rendimiento específicos, y los niveles de entrenamiento **facilitado** y **dificultado**, correspondientes a los factores de rendimiento básicos. En el caso del desarrollo de la fuerza explosiva específica es más correcto definir, además del nivel de entrenamiento específico, el nivel de entrenamiento **resistido** y **asistido** (figura 2.41).

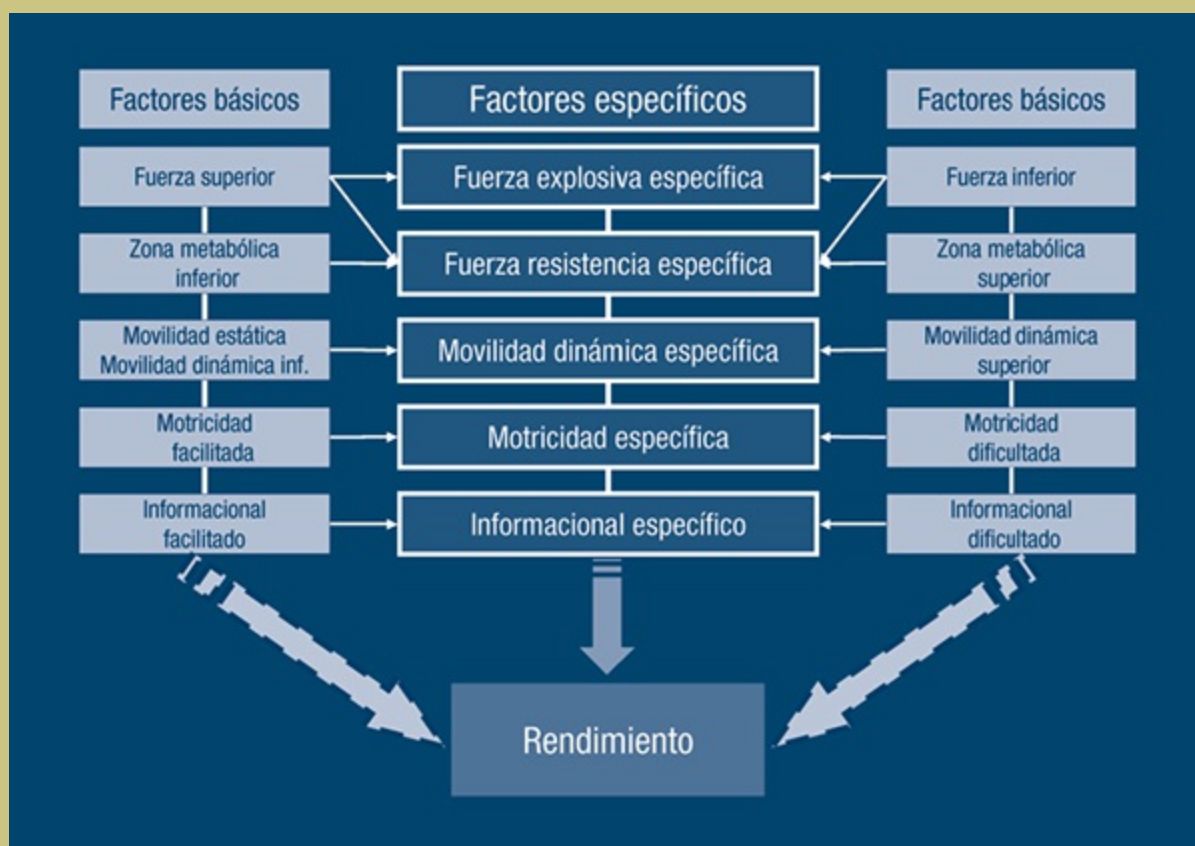


FIGURA 2.40. Modelo general de la relación entre los factores de rendimiento específicos y básicos en el deporte. Esta figura representa el mapa conceptual de los objetivos de entrenamiento en el deporte, considerando los factores de rendimiento específicos y sus correspondientes factores de rendimiento básicos. Globalmente, los factores de rendimiento básicos consideran el entrenamiento con menor y mayor exigencia que la requerida en competición, y en el caso de la fuerza, con mayor o menor aplicación de ella. Esta relación se comprende en el análisis realizado en los siguientes capítulos sobre la optimización de los distintos factores de rendimiento.

Original del autor.

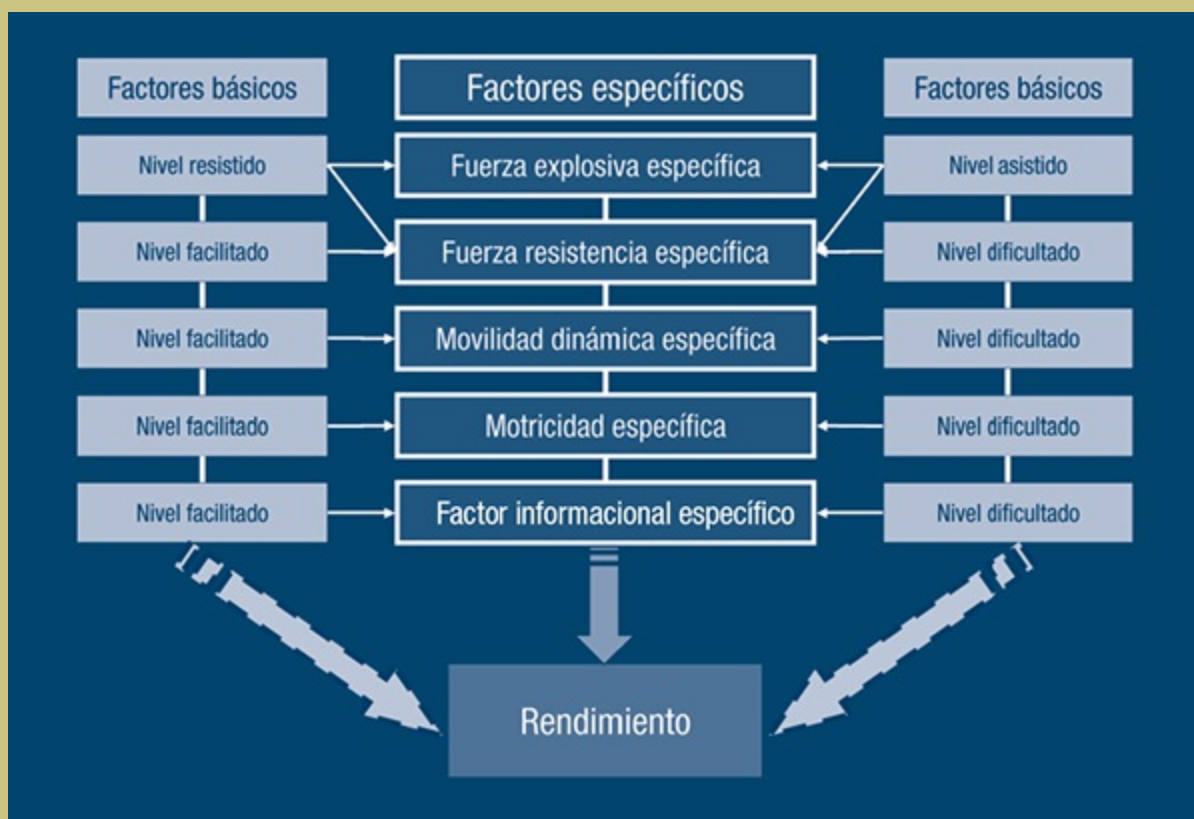


FIGURA 2.41. Modelo general de la relación entre los factores de rendimiento específicos y básicos con los niveles de entrenamiento. La identificación de los factores de rendimiento básicos, considerando la necesidad de entrenamiento con menor y mayor exigencia que la requerida en competición, establece dos niveles de entrenamiento, el nivel de entrenamiento facilitado y el dificultado, además del nivel de entrenamiento específico asociado al desarrollo de los factores de rendimiento específicos. Para las manifestaciones de fuerza, además del nivel de entrenamiento específico, se identifica un nivel de entrenamiento resistido y asistido de acuerdo con el hecho de que los factores de rendimiento básicos requieren la aplicación de mayor y menor fuerza que en competición.

Original del autor.

El objetivo del **nivel de entrenamiento facilitado** es preparar progresivamente al deportista para la aplicación de estímulos de entrenamiento más exigentes desde una perspectiva condicional, motriz e informacional. Lógicamente, el objetivo del **nivel de entrenamiento dificultado** es someter al deportista a estímulos de entrenamiento más exigentes que en competición.

Por ejemplo, la **fuerza resistencia** específica está asociada a una

determinada zona metabólica que implica la tolerancia a una determinada concentración de lactato. Trabajar en una zona metabólica de intensidad inferior a la específica para una determinada modalidad deportiva implica un trabajo con una mayor proporción de requerimiento del metabolismo aeróbico y menor concentración de lactato. Esto permite, en primer lugar, inducir adaptaciones del metabolismo aeróbico como incrementar el tamaño del corazón, disminuir la FC, aumentar el número de capilares, de mitocondrias y enzimas oxidativas. Estas adaptaciones, además de inducir un mayor desarrollo del metabolismo aeróbico, están asociadas a un incremento de la difusión del lactato del músculo a la sangre, permitiendo así la aplicación posterior de un estímulo de entrenamiento más intenso asociado al metabolismo anaeróbico. Además, lógicamente el nivel de entrenamiento facilitado va adaptando al deportista a tolerar progresivamente un nivel de concentración de lactato próximo al correspondiente a la competición, aproximándonos progresivamente también a similar aplicación en el nivel de fuerza. El nivel de entrenamiento dificultado asociado a la fuerza resistencia específica implica trabajar en una zona metabólica de intensidad superior, asociada para la mayoría de las modalidades deportivas a una mayor participación del metabolismo anaeróbico y tolerancia a niveles superiores de lactato con mayor aplicación de fuerza que en competición. Brevemente, esto determina acostumar al deportista a tolerar concentraciones de lactato superiores a las de competición, teniendo que desarrollar además una mayor aplicación de fuerza y en su caso mayor velocidad de desplazamiento. Esto implica que teóricamente el deportista va a tener menores dificultades para tolerar la menor concentración de lactato correspondiente a la competición.

Similar planteamiento puede realizarse para las modalidades deportivas que necesitan la ejecución motriz con gran amplitud de **movilidad articular**. Es conocido que la movilidad dinámica específica está limitada al desarrollo de la movilidad estática. Por este motivo, en las modalidades deportivas limitadas en su rendimiento por la movilidad dinámica se requiere un trabajo previo que, además de aproximar progresivamente la movilidad de trabajo a la de competición, incida en el desarrollo de la movilidad estática. Esto permitirá en algunas modalidades deportivas trabajar posteriormente con una movilidad dinámica de mayor amplitud articular que la que se manifiesta en competición, permitiendo un mayor rendimiento deportivo o como mínimo haciendo que el insuficiente desarrollo de la movilidad no limite el rendimiento.

Las características del nivel de entrenamiento facilitado y dificultado de los **factores de rendimiento motores e informacionales** son específicas de las distintas modalidades deportivas. Por ejemplo, el nivel de entrenamiento facilitado motor implica la ejecución aislada de determinadas acciones, la ejecución por partes de la acción motriz completa, su ejecución a menor velocidad y/o con menor precisión y el planteamiento de estas situaciones con menor número de estímulos presentes. Por el contrario, el nivel dificultado motor implica la ejecución de las acciones motrices en situación real de competición dificultando algunos de sus condicionantes, por ejemplo su ejecución con mayor fatiga o con mayor número de estímulos presentes. La disminución o el incremento de la velocidad de los estímulos, del número de estímulos y de la situación de fatiga son algunas de las directrices para el trabajo con un nivel facilitado o dificultado de los factores de rendimiento específicos informacionales.

Consideramos, sin embargo, que no es correcto definir un nivel de entrenamiento facilitado y dificultado para el desarrollo específico de la **fuerza explosiva** debido a que su entrenamiento se basa en la manifestación de fuerza explosiva con distintas intensidades de carga con el objetivo de desarrollar la capacidad contráctil del músculo, la reutilización de la energía elástica y la activación del reflejo miotático. El desarrollo de la capacidad contráctil del músculo está basado en el trabajo a una intensidad de carga superior a la de competición mediante ejercicios realizados con pesas o sobrecargas y con ejercicios específicos en los que hay que manifestar mayor fuerza que en competición. Desde esta perspectiva, parece más apropiado definir las características de este entrenamiento como de **nivel resistido**. Por el contrario, el desarrollo de la reutilización de la energía elástica y de la activación del reflejo miotático está asociado a la ejecución de ejercicios con una intensidad de carga inferior a la de competición, pudiendo definir las características de este entrenamiento como de **nivel asistido**. El nivel de entrenamiento resistido y asistido también es de aplicación para el desarrollo de la **fuerza resistencia** específica.

En los manuales de entrenamiento es habitual definir un **nivel de entrenamiento competitivo**. La concreción de este nivel de entrenamiento es de aplicación para todas las modalidades deportivas, pero especialmente para aquellas en las que el rendimiento está determinado por numerosos factores específicos. Brevemente, el nivel de entrenamiento competitivo implica la **integración de todos los factores de rendimiento específicos en el**

contexto de la competición. Por ejemplo, en un deporte de equipo es posible trabajar de forma aislada los principales factores de rendimiento específicos condicionales, la fuerza explosiva y la resistencia a la fuerza explosiva. El nivel de entrenamiento competitivo determina la aplicación de estos factores en situación de competición, con sus condicionantes motores e informacionales. Lógicamente, la aplicación del nivel de entrenamiento competitivo implica a su vez la aplicación de un nivel de entrenamiento específico, pudiendo definir las características de este entrenamiento como **nivel específico-competitivo.**

En la figura 2.42 se define el objetivo de los distintos **niveles de entrenamiento** y su relación con el estado de **prestación del deportista**. Esta asociación es fácilmente entendible si consideramos que el mayor grado de prestación del deportista se obtiene cuando se trabajan de forma integrada en el contexto de competición todos los factores de rendimiento específicos asociados a su modalidad deportiva, del nivel de entrenamiento específico-competitivo. Sin embargo, para ello previamente se requiere que se haya obtenido el mayor desarrollo posible de cada uno de los factores de rendimiento específicos, del nivel de entrenamiento específico. Como se ha especificado anteriormente, el mayor desarrollo de los factores de rendimiento específicos sólo es posible mediante el desarrollo de los factores de rendimiento básicos, que implica un trabajo previo de un nivel de entrenamiento facilitado y en el caso de la fuerza resistido, y de un trabajo posterior de nivel de entrenamiento dificultado y en el caso de la fuerza asistido. Lógicamente, esta secuenciación de los niveles de entrenamiento constituye un requisito básico de aplicación en los distintos sistemas de planificación y es el hilo conductor de este manual.



FIGURA 2.42. Objetivo de los distintos niveles de entrenamiento y su asociación con el estado de prestación deportiva. Obsérvese la importancia que el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento en la secuenciación establecida tiene para optimizar el rendimiento en competición. En el capítulo 8 se muestra cómo los distintos niveles de entrenamiento y su secuenciación son el factor clave de cualquier modelo de planificación.

Original del autor.

Síntesis

- Debido a la especificidad de la adaptación, el entrenamiento debe orientarse al desarrollo de los factores de rendimiento específicos de cada modalidad deportiva, considerados como los factores cuyo desarrollo determina una mejora directa del rendimiento.
- El entrenamiento también debe orientarse al desarrollo de los factores que posibilitan un mayor desarrollo de los factores de rendimiento específicos, considerados como factores de rendimiento básicos que determinan una mejora indirecta del rendimiento.
- Para las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva, se obtiene mayor desarrollo si se trabaja con magnitudes de carga que permitan manifestar mayor y menor fuerza que

en la competición.

- ▶ Para las modalidades deportivas que requieren una determinada zona metabólica, se obtiene mayor desarrollo si se trabaja con esfuerzos que solicitan una zona metabólica de menor y mayor intensidad que la correspondiente en la competición.
- ▶ Para las modalidades deportivas que requieren una elevada exigencia de movilidad articular, se obtiene mayor desarrollo si se trabaja con ejercicios que solicitan menor y mayor grado de movilidad articular que el requerido en la competición.
- ▶ Para las modalidades deportivas que requieren una elevada exigencia motriz e informacional, se obtiene mayor desarrollo si se trabaja con ejercicios que requieren menor y mayor exigencia que la requerida en la competición.
- ▶ La concreción y relación entre los factores de rendimiento específicos y sus correspondientes factores de rendimiento básicos determinan los distintos niveles de entrenamiento: nivel facilitado, específico y dificultado para la resistencia, movilidad articular y factores motores e informacionales; nivel resistido, específico y asistido para la manifestación de fuerza.
- ▶ En algunas modalidades deportivas que requieren el desarrollo de una gran variedad de factores de rendimiento específicos se puede establecer un nivel de entrenamiento específico-competitivo como integrador de todos los factores de rendimiento en situaciones que simulen la competición.
- ▶ Básicamente, el nivel de entrenamiento facilitado persigue preparar progresivamente al deportista para el desarrollo del nivel de entrenamiento específico. El nivel de entrenamiento dificultado persigue someter al deportista a estímulos más exigentes que en competición con el objetivo de que pueda transferir sus adaptaciones a las condiciones específicas de aquélla.
- ▶ Los niveles de entrenamiento resistido y asistido no pretenden facilitar y dificultar el nivel de entrenamiento. Su objetivo es permitir respectivamente adaptaciones asociadas a la capacidad contráctil y a factores asociados al ciclo estiramiento-acortamiento que permitan optimizar el rendimiento en las condiciones en que se aplica la fuerza en la competición.
- ▶ El establecimiento de los distintos niveles de entrenamiento asociados a

sus correspondientes factores de rendimiento específicos y básicos constituye la guía más práctica para secuenciar los distintos objetivos de entrenamiento. Así, está previsto un mayor nivel de prestación deportiva desarrollando sucesivamente los niveles facilitado y resistido-nivel específico-niveles dificultado y asistido-nivel específico o específico-competitivo. Esta secuencia es coherente si consideramos que en relación con la fecha de competición determina una progresión de la especificidad del entrenamiento y una progresión de su nivel de exigencia.

Cuestionario de asimilación

1. Indica qué se considera un factor de rendimiento específico de una modalidad deportiva.
2. Indica qué se considera un factor de rendimiento básico de una modalidad deportiva.
3. Especifica si consideras que todas las modalidades deportivas tienen que desarrollar los mismos factores de rendimiento básicos.
4. Establece la relación entre los factores de rendimiento específicos y los factores de rendimiento básicos.
5. Indica los factores de rendimiento básicos de los factores de rendimiento específicos de la fuerza explosiva, fuerza resistencia, movilidad dinámica y procesos motores e informacionales.
6. Define los distintos niveles de entrenamiento.
7. Especifica si consideras que todas las modalidades deportivas tienen que desarrollar los mismos niveles de entrenamiento.
8. Establece la interrelación entre los factores de rendimiento específicos y básicos con los distintos niveles de entrenamiento.
9. Indica los niveles de entrenamiento requeridos para desarrollar la fuerza explosiva, fuerza resistencia, movilidad dinámica, motricidad y procesos informacionales.
10. Establece las diferencias y semejanzas entre los niveles de entrenamiento específico y específico-competitivo.

11. Especifica la relación entre los distintos niveles de entrenamiento y el estado de prestación deportiva.
12. Establece la secuenciación en el tiempo de los distintos niveles de entrenamiento que consideres más adecuada para optimizar el rendimiento deportivo.

Bibliografía

- Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K *et al.* Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int J Sports Med* 1986;7 Suppl 1:27-8.
- Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z *et al.* Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:450-6.
- Allen DG, Westerblad H, Lee JA. Role of excitation-contraction coupling in muscle fatigue. *Sport Med* 1992;13:116-26.
- Amann, M, Dempsey, JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *J Physiol* 2008;586:161-73.
- Andersson H, Raastad T, Nilsson J *et al.* Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:372-80.
- Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:456-61.
- Bailey DM, Erith SJ, Griffin PJ *et al.* Influence of coldwater immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci*

2007;25:1163-70.

Baker DG, Newton RU. Adaptations in upper-body maximal strength and power output resulting from long-term resistance training in experienced strength-power athletes. *J Strength Cond Res* 2006;20:541-6.

Banister EW. Modeling elite athletic performance. En: Green HJ, McDougal JD, Wnger H. *Physiological Testing of Elite Athletes*. Human Kinetics 1991:403-24.

Barclay CJ, Arnold PD, Gibbs CL. Fatigue and heat production in repeated contractions of mouse skeletal muscle. *J Physiol* 1995;488:741-52.

Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med* 2006;36:781-96.

Baron B, Noakes TD, Dekerle J *et al*. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med* 2008;42:528-33.

Belcastro AN, Mclean I, Gilchrist J. Biochemical basis of muscular fatigue associated with repetitions contractions of skeletal muscle. *Int J Biochem* 1985;17:453-77.

Bernstein DA. *Entrenamiento en relajación progresiva*. DDB, 1999.

Billaut F, Basset FA. Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. *J Sports Sci* 2007;25:905-13.

Billaut F, Giacomoni M, Falgairette G. Maximal intermittent cycling exercise: effects of recovery duration and gender. *J Appl Physiol* 2003;95:1632-37.

Bognadis GC, Nevill ME, Lakomy HKA *et al*. Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol* 1996;74:461-9.

Bompa TO. *Periodization of strength training: the new wave*

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

in strength training. Veritas Publis. Inc., 1993.

Bond V, Adams RG, Tearney RJ *et al*. Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:357-61.

Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scan J Med Sci Sports* 2006;16:57-69.

Borg G, Borg E. A new generation of scaling methods: level-anchored ratio scaling. *Psychologica* 2001; 28:15-45.

Borg G. A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. En: Geissler HG, Petzold P. *Psychophysical judgment and the process of perception*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1982.

Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970;2:92-8.

Borresen J, Lambert MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 2008;38:633-46.

Bosquet L, Merkari S, Arvisais D *et al*. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med* 2008;42:709-14.

Bouissou P, Estrade PY, Goubel F *et al*. Surface EMG power spectrum and intramuscular pH in human vastus lateralis muscle during dynamic exercise. *J Appl Physiol* 1989;67:1245-9.

Broadbent DE. *Perception and communication*. Pergamon, 1958.

Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci* 2004;22:15-30.

Calbet JA, Dorado C. Fatiga, dolor muscular tardío y sobreentrenamiento. En: López J, Fernández A. *Fisiología*

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

del ejercicio. Médica Panamericana, 2006.

Castagna C, Abt G, Manzi V *et al*. Effect of recovery mode on repeated sprint ability in young basketball players. *J Strength Cond Res* 2008;22:923-9.

Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 2003;33:145-64.

Cheuvron SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running. Biological and environmental influences. *Sports Med* 2001;31:743-62.

Childs A, Jacobs C, Kaminski T *et al*. Supplementation with vitamin C and N-acetyl-cysteine increases oxidative stress in humans after an acute muscle injury induced by eccentric exercise. *Free Radic Biol Med* 2001;31:745-53.

Clement DB. Anemia and iron deficiency in athletes. *Sports Sci Period Res Technol Sport* 1981;2:1-4.

Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sports* 2004;7:1-10.

Connett RJ, Gayeski TE, Honig CR. Lactate accumulation in fully aerobic, corking dog gracilis muscle. *Am J Physiol* 1984;246 (1 Pt 2):H120-8.

Cooke R, Pate E. The effects of ADP and phosphate on the contraction of muscle fibers. *Biophysiol J* 1985;48:789-98.

Copeland BL, Franks BD. Effects of types and intensities of background music on treadmill endurance. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:100-3.

Córdova A, Alvarez-Mon M. El sistema inmune (1): conceptos generales, adaptación el ejercicio físico e implicaciones clínicas. *Arch Med Dep* 1999;69:4754.

Córdova A, Navas FJ, Seco J. Aspectos metabólicos de la fatiga muscular durante el ejercicio. *Arch Med Dep* 1995;

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

48:283-91.

Córdova A, Alvarez-Mon M. Behaviour of zinc in physical exercise: a special reference to immunity and fatigue.

Neurosci Biobehav Rev 1995;19:439-45.

Córdova A, Navas FJ, Escanero JF. Magnesium levels and dynamometric parameters in relation with postoperative fatigue. *Magnesium Bull* 1992; 14: 98-101.

Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20:249-54.

Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M *et al.* Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:339-43.

Counsilman BE, Counsilman JE. The residual effect of training. *J Swimming Res* 1991;7:5-12.

Coutts AJ, Wallace LK, Slattery KM. Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *Int J Sports Med* 2007 Feb;28(2):125-34.

Crewe H, Tucker R, Noakes TD. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:569-77.

Crowe MJ, O'Connor D, Rudd D. Cold water recovery reduces anaerobic performance. *Int J Sports Med* 2007;28:994-8.

Dawson B, Cow S, Modra S *et al.* Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport* 2005;8:210-21.

- Després JP, Bouchard C, Savard R. The effect of a 20-week endurance training program on adipose-tissue morphology and lipolysis in men and women. *Metabolism* 1984;33:235-9.
- Dobson GP, Yamamoto E, Hochachka PW. Phosphofructokinase control in muscle: nature and reserval of pH dependent ATP inhibition. *Am J Physiol* 1978;250:71-6.
- Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JA. Effects of recovery mode on performance, O₂ uptake, and O₂ deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol* 2004;29:227-44.
- Dupont G, Moalla W, Matran R *et al.* Effect of short recovery intensities on the performance during two Wingate tests. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1170-6.
- Dupont G, Moalla W, Guinhouya C *et al.* Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:302-8.
- Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:548-54.
- Edwards RHT. International of chemical with electromechanical factors in human skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand* 1986;128 Suppl 556: 146-55.
- Eklblom B. To measure physical performance in many sports is often very easy and is also done with great precision. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:119-22.
- Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol* 2008;586:11-23.
- Eriksson LS, Broberg AS, Björkam O *et al.* Ammonia metabolism during exercise in man. *Clin Physiol*

1985;5:325-36.

Esmarck B, Andersen JL, Olsen S *et al.* Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 2001;535:301-11.

Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 1999;17:231-8.

Fabiato A, Fabiato F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol* 1978;276:233-55.

Fernández B, Mora R, Terrados N. *Fatiga deportiva y métodos de recuperación del entrenamiento y la competición*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM 2003.

Ferrauti A, Pluim BM, Weber K. The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *J Sports Sci* 2001;19:235-42.

Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev* 1994;74:49-94.

Foster C, Florhaug JA, Franklin J *et al.* A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 2001;15:109-15.

Foster C, Lehmann M. Overtraining Syndrome. En: Guten GN. *Running injuries*. Saunders, 1997:173-88.

García-Mas A, Aguado FJ, Cuartero J *et al.* Sueño, descanso y rendimiento en jóvenes deportistas de competición. *RPD* 2003;12:181-95.

Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of postmatch recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 2006;40:260-3.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Graham TE, Kiens B, Hargreaves M *et al.* Influenced of fatty acids on ammonia and amino acid flux from active human muscle. *Am J Physiol* 1991;261:168-76.
- Green HJ. Neuromuscular aspects of fatigue. *Can J Sport Sci* 1987;12 Supl. 1:000S-000S.
- Greenhaff PL, Nevill ME, Soderlund K *et al.* The metabolic responses of human type-I and type II muscle fibers during maximal treadmill sprinting. *J Physiol* 1994;478:149-55.
- Greenwood JD, Moses GE, Bernardino FM *et al.* Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci* 2008;26:29-34.
- Grimby L, Hannerz J, Hedman B. The fatigue and voluntary discharge properties of single motor units in man. *J Physiol* 1981;361:545-54.
- Guezennec CY, Leger C, Satabin P. *Lipid metabolism and performance. Muscle fatigue.* Masson, 1991.
- Haaland E, Hoff J. Non-dominant leg training improves the bilateral motor performance of soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:179-84.
- Häkkinen K, Alén M, Komi PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 1985;125:573-85.
- Halsen SL, Jeukendrup AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching an overtraining research. *Sports Med* 2004;34:967-81.
- Hamlin MJ. The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. *J Sci Med Sport* 2007;10:398-402.
- Hargreaves M, Costill DL, Coggan A *et al.* Effect of

carbohydrate feedings on muscle glycogen utilization and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:219-22.

Hellard P, Avalos M, Mollet G *et al.* Modeling the residual effects and threshold saturation of training: a case study of Olympic swimmers. *J Strength Cond Res* 2005;19:67-75.

Hernández-Peon R, Brust-Carmona H, Penazola-Rojas J *et al.* The efferent control of afferent signals entering the central nervous system. *Ann N Y Acad Sci* 1961;89:866-82.

Hinds T, McEwan I, Peerkers J *et al.* Effects of massage on limb and skin blood flow after quadriceps exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1308-13.

Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H *et al.* Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56:253-9.

Howatson G, Goodall S, van Someren KA. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:615-21.

Hultman E, Sjöholm H. Electromyogram, force and relaxation time during and after continuous electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *J Physiol* 1983;339:33-40.

Humphrey JH, Yow DA, Bowden WW. Reducing stress through biofeedback. En: Humphrey JH. *Stress in college athletes: causes, consequences, coping*. Haworth Half-Court Press, 2000.

Inesi G, Hill TL. Calcium and proton dependence of sarcoplasmic reticulum ATPase. *Biophys J* 1983; 44:271-80.

Ingram J, Dawson B, Goodman C *et al.* Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport* 2009;12:417-21.

Israel S. Overreaching and overtraining in endurance athletes. En: Kreinder R, Fry A, O'Toole M. *Overtraining in sport*. Human Kinetics, 1998.

Issurin V, Lustig G. Classificazione, durata e componenti pratiche dell'effetto residuo di allenamento. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2004, 60-61:25-9.

Issurin V. La concezione della struttura a blocchi dell'allenamento. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2002;56:6-9.

Itoh H, Ohkuwa T, Yamazaki Y et al. Vitamin E supplementation attenuates leakage of enzymes following 6 successive days of running training. *Int J Sports Med* 2000;21:369-74.

Ivy JL, Jatz AL, Cutler CL et al. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 1988;64:1480-5.

Jakeman P, Maxwell S. Effect of antioxidant vitamin supplementation on muscle function after eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 1993;67:426-30.

Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers A et al. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *Int J Sports Med* 1997;18:125-9.

Karageorghis C, Ferry P. The psychophysical effects of music in sport and exercise: A review. *J Sport Behav* 1997;20:54-68.

Karlsson J, Saltin B. Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* 1971;82:115-22.

Kellmann M, Kallus KW. *Recovery-Stress Questionnaire for athletes: User manual*. Human Kinetics, 2001.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Kenttä G, Hassmén P. Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports Med* 1998;26:1-16.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H *et al.* Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:743-51.
- Kraemer WJ, Nindl BC, Ratamess NA *et al.* Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:697-708.
- Lakier Smith L. Overtraining, excessive exercise, and altered immunity. *Sports Med* 2003;33:347-64.
- Lakier Smith L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Med Sci Sports Exerc* 2000;2:317-31.
- Lambert EV, St Clair Gibson A, Noakes TD. Complex systems model of fatigue: integrative homoeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2005;39:52-62.
- Lattier G, Millet GY, Martin A *et al.* Fatigue and recovery after high-intensity exercise. Part II: Recovery interventions. *Int J Sports Med* 2004;25:509-15.
- Lau S, Berg K, Latin RW *et al.* Comparison of active and passive recovery of blood lactate and subsequent performance of repeated work bouts in ice hockey players. *J Strength Cond Res* 2001;15:367-71.
- Legaz-Arrese A, González-Carretero M, Lacambra-Blasco I. Adaptation of left ventricular morphology to long-term training in sprint- and endurance-trained elite runners. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:740-6.
- Legaz-Arrese A, Serrano Ostáriz E, Casajús Mallén JA *et al.* The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:435-40.

- Lucía A, Hoyos J, Santalla A *et al.* Tour de France versus Vuelta a España: which is harder?. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:872-8.
- Mäestu J, Jürimäe J, Jürimäe T. Monitoring of performance and training in rowing. *Sports Med* 2005;35:597-617
- Martin D, Carl K, Lehnertz K. *Manual de Metodología del Entrenamiento*. Paidotribo, 2001.
- Martin V, Millet GY, Lattier G *et al.* Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1907-15.
- Maughan RJ, Leiper JB, Shirreffs SM. Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of food and fluid intake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;73:317-25.
- Maughan RJ, Leiper JB. Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71:311-9.
- Mc Kenna MJ. The roles of ionic processes in muscular fatigue during intense exercise. *Sports Med* 1992;13:134-45.
- McNair DM, Lorr M, Droppleman LF. *Profile of Mood States Manual*. Educational and Industrial Testing Services, 1971.
- Meeusen R, Watson P, Hasegawa H *et al.* Brain neurotransmitters in fatigue and overtraining. *Appl Physiol Nutr Metab* 2007;32:857-64.
- Meeusen R, Duclos M, Gleeson M *et al.* Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *Eur J Sport Sci* 2006;6:1-14.
- Miguel M. *Sistema consciente para la técnica del movimiento*. Mandala Ediciones, 2001.
- Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL *et al.* Independent and combined effects of amino acids and glucose after

- resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:449-55.
- Mitchell JB, Grandjean PW, Pizza FX *et al.* The effect of volume ingested on rehydration and gastric emptying following exercise-induced rehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1135-43.
- Möckel M, Röcker L, Störk T *et al.* Immediate physiological responses of healthy volunteers to different types of music: cardiovascular, hormonal and mental changes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;68:451-9.
- Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000;21:593-7.
- Montgomery PG, Pyne DB, Hopkins WG *et al.* The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *J Sports Sci* 2008;26:1135-45.
- Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: Long term insufficient training stimulus. *Sports Med* 2000a;30:145-54.
- Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: Short term insufficient training stimulus. *Sports Med* 2000b;30:79-87.
- Mujika I, Busso T, Lacoste L *et al.* Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:251-8
- Mutch BJ, Banister EW. Ammonia metabolism in exercise and fatigue: a review. *Med Sci Sport Exerc* 1983;15:41-50.
- Navarro F. *Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994.

- Neumann G, Pfützner A, Berbalk A. *Successful endurance training*. Meyer & Meyer Sport, 2000.
- Newsholme EA, Parry-Billings M, McAndrew N *et al*. A biochemical mechanism to explain some characteristics of overtraining. En: Brouns F. *Advances in Nutrition and Sport*. Karger, 1991.
- Nideffer RM. *The inner athlete: Mind plus muscle for winning*. Thomas y Crowell, 1976.
- Nielson AN, Mizuno M, Ratkevicius A *et al*. No effect of antioxidant supplementation in triathletes on maximal oxygen uptake, ³¹P-NMRS detected muscle energy metabolism and muscle fatigue. *Int J Sports Med* 1999;20:154-8.
- Niess AM, Sommer M, Schneider M *et al*. Physical exercise-induced expression of inducible nitric oxide synthase and heme oxygenase-1 in human leukocytes: effects of RRR- α -tocopherol supplementation. *Antioxid Redox Signal* 2000;2:113-26.
- Noakes TD. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. *Sports Med* 2007;37:374-7.
- Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med* 2005;39:120-4.
- Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004a;38:511-4.
- Noakes TD, St Clair Gibson A. Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans.

Br J Sports Med 2004b;38:648-9.

Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:123-45.

Nose H, Mack GW, Shi XR *et al.* Effect of saline infusion during exercise on thermal and circulatory regulations. *J Appl Physiol* 1990;69:609-16.

Ogai R, Yamane M, Matsumoto T *et al.* Effects of petrissage massage on fatigue and exercise performance following intensive cycle pedalling. *Br J Sports Med* 2008;42:534-8.

Palmer GS, Clancy MC, Hawley JA, Rodger IM, Burke LM, Noakes TD. Carbohydrate ingestion immediately before exercise does not improve 20 km time trial performance in well trained cyclists. *Int J Sports Med* 1998;19:415-8.

Parkin JA, Carey MF, Martin IK *et al.* Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sport Exerc* 1997;29:220-4.

Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G *et al.* Effect of cold water immersion on repeated 1-km cycling performance in the heat. *J Sci Med Sport* 2008 Oct 21. [Epub ahead of print]

Peiffer JJ, Abbiss CR, Wall BA *et al.* Effect of a 5 min cold water immersion recovery on exercise performance in the heat. *Br J Sports Med* 2008 Jun 6. [Epub ahead of print]

Pelliccia A, Maron BJ, De Luca R *et al.* Remodeling of left ventricular hypertrophy in elite athletes after long-term deconditioning. *Circulation* 2002;105:944-9.

Peters EM, Anderson R, Theron AJ. Attenuation of increase in circulating cortisol and enhancement of the acute phase protein response in vitamin C-supplemented ultramarathoners. *Int J Sports Med* 2001a;22:120-6.

Peters EM, Anderson R, Nieman DC *et al.* Vitamin C

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

supplementation attenuates the increases in circulating cortisol, adrenaline and anti-inflammatory polypeptides following ultramarathon running. *Int J Sports Med* 2001b;22:537-43.

Platonov VN. *El entrenamiento deportivo, teoría y metodología*. Paidotribo, 1999.

Popova, TV, Koryukalov, Y, Marokko, DA. Central mechanisms of fatigue during local static muscular activity. *Human Physiol* 2007;33:467-72.

Punzón C, Alcalde A, Fresno M. In vitro anti-inflammatory activity of *Phlebodium decumanum*. Modulation of tumor necrosis factor and soluble TNF receptors. *Int Immunopharmacol* 2003;3:1293-9.

Raedeke TD, Smith AL. Development and preliminary validation of an athlete burnout measure. *J Sport Exerc Psychol* 2001;23:281-306.

Reilly T, Rigby M. Effect on an active warm-down following competitive soccer. En: Spinks W, Reilly T, Murphy A. *Science and football IV*. Routledge, 2002.

Reilly T, Cable NT. Thermoregulation. En: Eston R, Reilly T. *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: test procedures and data*. Vol. 2. Exercise physiology. Routledge, 2001.

Roberts D, Smith DJ. Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue. A review. *Sports Med* 1989;7:125-38.

Rushall BS. A tool for measuring stress tolerance in elite athletes. *J Appl Sport Psychol* 1990;2:51-66.

Sairyo K, Iwanaga K, Yoshida N *et al*. Effects of active recovery under a decreasing work load following intense muscular exercise on intramuscular energy metabolism. *Int J Sports Med* 2003;24:179-82.

Saltin B. Anaerobiosis en el ejercicio: limitaciones e

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- implicaciones en el rendimiento. *Apunts* 1990;26:1317.
- Samuels C. Sleep, recovery, and performance: the new frontier in high-performance athletes. *Neurol Clin* 2008;26:169-80.
- Sands WA, Stone MH. Come interpretare i risultati dei test di controllo dell'allenamento. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2006;69:21-7.
- Savis JC. Sleep and athletic performance: overview and implications for sport psychology. *The Sport Psychologist* 1994;8:111-25.
- Schultz JH. *El entrenamiento autógeno*. Científico Médica, 1959.
- Scoon GS, Hopkins WG, Mayhew S et al. Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *J Sci Med Sport* 2007;10:259-62.
- Selye H. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Br J Nat* 1936;138:32.
- Shalin K, Broberg S, Ren JM. Formation of inosine monophosphate (IMP) in human skeletal muscle during incremental dynamic exercise. *Acta Physiol Scand* 1989;136:193-8.
- Sharp RL, Costill DL, Fink WJ et al. The effects to eight weeks of bicycle ergometer sprint training on buffer capacity. *Int J Sports Med* 1986;7:13-7.
- Shirreffs SM, Maughan RJ. Rehydration and recovery of fluid balance after exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 2000;28:27-32.
- Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB et al. Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1260-71.
- Siff M, Verhoshansky Y. *Superentrenamiento*. Paidotribo, 2000.
- Sjøgaard G, Savard G, Juel C. Muscle blood flow during

- isometric activity and its relation to muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:327-35.
- Sjøgaard G. Water and electrolyte fluxes during exercise and their relation to muscle fatigue. *Acta Physiol Scand Suppl* 1986;556:129-36.
- Smith LL. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:317-31.
- Spencer M, Bishop D, Dawson B *et al.* Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1492-9.
- Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA *et al.* Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int J Sports Med* 2004;25:109-14.
- St Clair Gibson A, Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004;38:797-806.
- Steinberg JG, Ba A, Bregeon F *et al.* Cytokine and oxidative responses to maximal cycling exercise in sedentary subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:964-8.
- Stienen GJM, Versteeg PGA, Papp Z. Mechanical properties of skinned rabbit psoas and soleus muscle fibres during lengthening: effects of phosphate and Ca^{2+} . *J Physiol* 1992; 41:503-23.
- Swart J, Lamberts RP, Lambert MI *et al.* Exercising with reserve: exercise regulation by perceived exertion in relation to duration of exercise and knowledge of endpoint. *Br J Sports Med* 2009a;43:775-81.
- Swart J, Lamberts R, Lambert MI *et al.* Exercising with reserve: evidence that the central nervous system

- regulates prolonged exercise performance. *Br J Sports Med* 2009b;43:782-8.
- Tipton KD, Wolfe RR. Protein and amino acids for athletes. *J Sports Sci* 2004;22:65-79.
- Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP. Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *Eur J Appl Physiol* 2005;93:694-700.
- Tsopanakis C, Tsopanakis A. Stress hormonal factors, fatigue, and antioxidant responses to prolonged speed driving. *Pharmacol Biochem Behav* 1998;60:747-51.
- Utter AC, Kang J, Robertson RJ *et al.* Effect of carbohydrate ingestion on ratings of perceived exertion during a marathon. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1779-84.
- Urso ML, Clarkson PM. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology* 2003;189: 41-54.
- Vaile J, Halson S, Gill N *et al.* Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *J Sports Sci* 2008a;26:431-40.
- Vaile J, Halson S, Gill N *et al.* Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Eur J Appl Physiol* 2008b;102:447-55.
- Vaile J, Halson S, Gill N *et al.* Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med* 2008c;29:539-44.
- Virta A. Molecular cellular mechanisms of training effects. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:309-22.
- Vøllestad NK, Sejersted OM. Biochemical correlates of fatigue. A brief review. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:336-47.
- Warburton DER, Gledhill N, Jamnik VK *et al.* Induced hypervolemia, cardiac function, VO_2max , and performance

of elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:800-8.

Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med* 2005;35:236-56.

Weir JP, Beck TW, Cramer JT, Housh TJ. Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *Br J Sports Med* 2006 Jul;40(7):573-86; discussion 586.

Weltman A, Regan JD. Prior exhaustive exercise and subsequent, maximal constant load exercise performance. *Int J Sports Med* 1983;4:184-9.

Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med* 2006;36:747-65.

Wilkie DR. Muscular fatigue: effects of hydrogen ions and inorganic phosphate. *Fed Proc* 1986;45:2921-3.

Wilkinson SB, Kim PL, Armstrong D *et al*. Addition of glutamine to essential amino acids and carbohydrate does not enhance anabolism in young human males following exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006;31:518-29.

Williams JH, Klug GA. Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review. *Muscle Nerve* 1995;18:421-34.

Williams SJ, Kendall L. Perceptions of elite coaches and sports scientists of the research needs for elite coaching practice. *J Sports Sci* 2007;25:1577-86.

Yamane M, Teruya H, Nakamo M *et al*. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:572-80.

Zatsiorsky VM. *Science and practice of strength training*. Human Kinetics, 1995.

capítulo 3

Optimización de la fuerza

El capítulo 3 pretende capacitar al lector para, basándose en los conocimientos actuales, desarrollar una metodología de entrenamiento de fuerza apropiada para cada deportista y modalidad deportiva con el fin de optimizar el rendimiento. En el apartado 1, *“Fundamentos básicos de la fuerza”*, se analizan e interrelacionan los principales conceptos mecánicos asociados al entrenamiento de fuerza y se justifica que las manifestaciones de fuerza explosiva y fuerza resistencia sean las que caracterizan el contexto de competición de las distintas modalidades deportivas. El apartado 2, *“Factores asociados al nivel de entrenamiento específico de las distintas manifestaciones de fuerza”*, muestra para ambas manifestaciones de fuerza la influencia de los distintos factores neurofisiológicos y metabólicos. Este análisis nos permite en el apartado 3, *“Niveles de entrenamiento resistido y asistido de las distintas manifestaciones de fuerza”*, justificar la necesidad de entrenar con cargas superiores e inferiores a las de la competición. Conocidos los factores mecánicos y neurofisiológicos que justifican los distintos niveles de entrenamiento de fuerza, se abordan en el apartado 4, *“Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva”*, y el 5, *“Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza resistencia”*, todos los factores que influyen en una adecuada metodología de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva y de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos. Finalmente, en el apartado 6, *“Evaluación y control de la fuerza explosiva”*, se definen los distintos tests y sus correspondientes aplicaciones para determinar el efecto final del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento específico y los efectos parciales que permitan reorientar el trabajo de fuerza en el proceso de entrenamiento. Este análisis es exclusivo para la manifestación de la fuerza explosiva, considerando

que la reorientación de la fuerza resistencia requerida en la mayoría de las modalidades deportivas debe realizarse con pruebas asociadas al rendimiento de resistencia.

1

Fundamentos básicos de la fuerza

Alejandro Legaz-Arrese, Iñigo Burguete
Lacuey

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer la interrelación de los conceptos mecánicos asociados al entrenamiento de fuerza.
- Conocer las variables que determinan la manifestación de fuerza en las distintas modalidades deportivas.
- Conocer los conceptos de fuerza explosiva, fuerza resistencia y resistencia a la fuerza.

Índice

1.1. Conceptualización de la fuerza

1.2. Manifestación de fuerza en los movimientos deportivos

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El estudio de la fuerza es básico para optimizar el rendimiento de todas las modalidades deportivas debido a que en todas es necesario aplicar fuerza. Para comprender la metodología del entrenamiento de fuerza, se requiere previamente diferenciar e interrelacionar los principales conceptos mecánicos asociados a la aplicación de fuerza. También es importante ordenar y analizar las principales variables que determinan que la fuerza requerida y el contexto en que debe aplicarse sean muy diferentes entre las distintas modalidades deportivas y acciones motrices. Estos dos objetivos se plantean en este apartado.

1.1. Conceptualización de la fuerza

La fuerza constituye uno de los principales factores de rendimiento en la mayoría de las modalidades deportivas. De hecho, únicamente se puede producir una variación en el movimiento si existe una aplicación de fuerza. La fuerza, al igual que la velocidad, la aceleración, el trabajo y la potencia, es una variable mecánica derivada de la **masa**, la **distancia** y el **tiempo** (figura 3.1).

La fuerza y la potencia son las variables mecánicas más utilizadas en el contexto del entrenamiento deportivo. Desde una perspectiva física, podemos definir la **fuerza** como la acción que produce cambios en el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o bien que produce deformaciones, siendo su formulación $F = \text{masa} \times \text{aceleración}$. La **potencia** establece la relación entre el trabajo realizado por unidad de tiempo, siendo su formulación $P = \text{fuerza} \times \text{velocidad}$. La figura 3.2 sirve de hilo conductor al mostrar la relación entre la fuerza, la potencia, la velocidad, la masa y el tiempo.

Ante una **determinada magnitud de masa**, carga o resistencia a superar, la fuerza que manifiesta un deportista depende exclusivamente de su capacidad para acelerar la carga. En consecuencia, para cada nivel de carga el deportista manifiesta la **máxima fuerza** posible únicamente cuando realiza el máximo esfuerzo para mover la carga a la **máxima velocidad** posible. Simultáneamente, esto implica realizar el máximo trabajo por unidad de tiempo, manifestando la **máxima potencia** para ese nivel de carga. Desde esta perspectiva, el poder realizar el máximo empeño posible en superar una resistencia equivale a desarrollar la máxima velocidad de desplazamiento, la máxima potencia y la máxima fuerza. Con el fin de unificar criterios, para

una determinada magnitud de carga, la manifestación máxima de fuerza y de potencia se define en este manual como **manifestación de fuerza explosiva**. Debido a que durante la amplitud del movimiento en el desplazamiento de una carga la velocidad no es constante, los valores de aceleración, fuerza y potencia varían durante el período de tiempo de aplicación de fuerza. Así pues, en realidad, para cada instante de tiempo de duración del movimiento podremos medir valores diferentes de velocidad, aceleración, fuerza y potencia. En este manual haremos referencia habitualmente al tiempo de aplicación de fuerza y a los máximos niveles de fuerza y de potencia desarrollados durante el movimiento, lo que hemos definido como fuerza explosiva. Aunque nos referimos constantemente a **velocidad de desplazamiento**, todos los conceptos indicados tienen la misma aplicación cuando no existe movimiento como consecuencia de que la fuerza manifestada es insuficiente para desplazar la carga. Hay que considerar que en este tipo de acción, denominada habitualmente **acción isométrica** o estática, existe el mismo movimiento de acortamiento de fibras que en la **acción dinámica**, caracterizada porque se objetiva un movimiento externo de la carga.



FIGURA 3.1. Concepto y relación de las principales variables mecánicas asociadas a la fuerza. Todas las variables mecánicas utilizadas habitualmente en el entrenamiento de fuerza están interrelacionadas y son dependientes de la masa o de la resistencia a superar, de la distancia y del tiempo.

Original del autor.

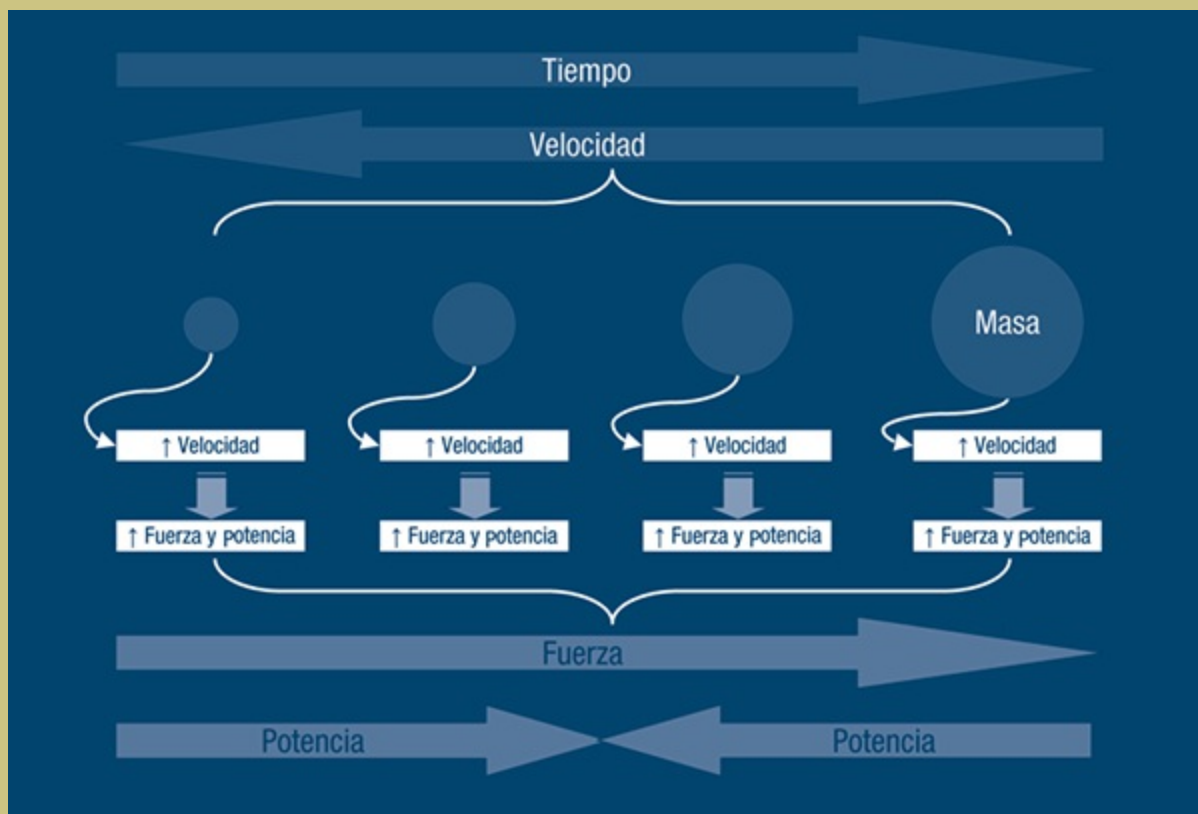


FIGURA 3.2. Relación entre fuerza, potencia, velocidad, masa y tiempo. Obsérvese que para una determinada masa o resistencia a superar la relación entre la velocidad, la fuerza y la potencia es proporcional. Así, se manifiesta la máxima fuerza y la potencia cuando se desplaza la resistencia a la máxima velocidad. Cuando nos referimos a distintas magnitudes de resistencia, la relación entre la fuerza y el tiempo es proporcional, y ambas variables son inversamente proporcionales a la velocidad. Así, cuanto mayor es la resistencia, más tiempo cuesta desplazarla y se manifiesta mayor fuerza y menor velocidad. En este caso, como la potencia es producto de la fuerza y la velocidad, la máxima potencia se manifiesta con una magnitud de resistencia relativamente media.

Original del autor.

Como se representa en la figura 3.2, el **nivel de fuerza** requerido para desplazar una carga es mayor cuanto mayor es su magnitud. La **magnitud de la carga** también está relacionada con la duración del movimiento y, por tanto, con el **tiempo de manifestación de fuerza**. En este sentido, se necesita más tiempo para realizar la misma amplitud de movimiento conforme aumenta la magnitud de la carga, lo que simultáneamente implica una menor **velocidad de desplazamiento**. Estas relaciones entre la magnitud de la carga, la fuerza manifestada, el tiempo de manifestación de fuerza y la velocidad de

desplazamiento de la carga determinan los principios fundamentales del entrenamiento de la fuerza.

El primer punto de interés es que en una determinada **acción dinámica** el mayor nivel de fuerza únicamente puede manifestarse cuando se desplaza la carga máxima y, por consiguiente, sólo se puede ejecutar una repetición. La **carga máxima** se define comúnmente como una repetición máxima (**1RM**). El nivel de fuerza es todavía superior cuando se manifiesta la fuerza explosiva ante una carga que el deportista no es capaz de desplazar. En ejercicios con pesas o sobrecargas es factible controlar el nivel de carga, por lo que su análisis es ilustrativo de cómo disminuye la fuerza cuando se desplaza una carga relativamente inferior respecto a la carga correspondiente a 1RM. En la figura 3.3 se muestra la fuerza manifestada en la ejecución a máxima velocidad del ejercicio de prensa de pecho a distintas intensidades relativas de la carga. Este ejemplo demuestra que, para una determinada acción motriz, el deportista está limitado en la aplicación de fuerza por la magnitud de la carga, lo que implica que no puede manifestar la fuerza de que realmente dispone. El porcentaje de fuerza que no se puede manifestar se define como el déficit de fuerza. Cuanto menor es la **magnitud de la carga**, mayor es el **déficit de fuerza**. Como ejemplo, en la figura 3.3 se muestra el déficit de fuerza asociado a las distintas intensidades relativas de carga, tomando como referencia la fuerza manifestada al 80% de 1RM. Este concepto es especialmente relevante debido a que en la casi totalidad de las **acciones motrices deportivas** el deportista tiene que manifestar fuerza ante una **magnitud de carga relativamente baja**. Por tanto, podemos afirmar que, aunque un deportista cuando realiza una acción motriz a la máxima velocidad está manifestando la máxima fuerza posible, en realidad es **relativamente bajo el nivel de fuerza manifestado**, muy inferior a su capacidad para manifestar fuerza.

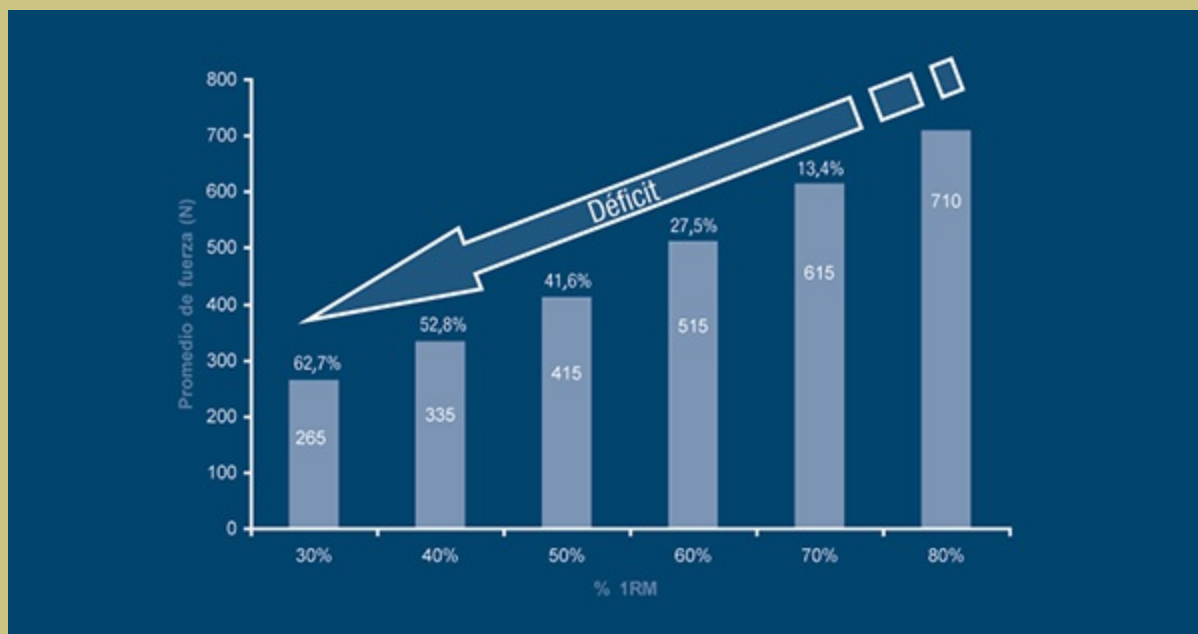


FIGURA 3.3. Relación de la fuerza y el déficit de fuerza con la intensidad relativa de la carga. En un ejemplo real durante la ejecución de una prensa de pecho, la fuerza manifestada disminuye proporcionalmente conforme la intensidad relativa de la resistencia a superar es menor. Destaca el concepto de déficit de fuerza para expresar el porcentaje que deja de manifestarse al disminuir la magnitud de la resistencia, en este caso respecto a la fuerza manifestada con la máxima carga medida, 80% de 1RM.

Elaborado con datos de Cronin J et al. J Strength Cond Res 2003;17:148-55.

Lógicamente, como el tiempo de que se dispone para aplicar fuerza disminuye en relación con la intensidad relativa de la carga, existe una asociación entre el **tiempo de manifestación de fuerza** y el **déficit de fuerza**. Para una mejor comprensión de esta asociación, se muestra en las figuras 3.4 y 3.5 un ejemplo real de la relación entre la fuerza y el tiempo (**curva fuerza-tiempo**) durante la ejecución a máxima intensidad de un ejercicio con sobrecargas ante una resistencia insalvable (acción estática) y una resistencia de 100 kg (acción dinámica).

En una **acción estática**, cuando el deportista no puede superar la resistencia determinada por la carga, al no haber desplazamiento, no existe limitación del tiempo de manifestación de la fuerza. En este caso, aunque con distinto grado de magnitud, la fuerza se incrementa de manera progresiva en el tiempo hasta alcanzar el nivel máximo de fuerza. A partir de ese momento, el deportista puede continuar manifestando fuerza, que será de menor

magnitud debido a la fatiga.

En una **acción dinámica**, el tiempo de aplicación de fuerza está limitado por el desplazamiento de la carga. Además, el nivel máximo de fuerza se evidencia al inicio del movimiento debido a que la resistencia que ejerce la carga es superior. En el resto del desplazamiento la fuerza disminuye progresivamente. En el análisis de este ejemplo se observa que el nivel máximo de fuerza y el tiempo para manifestarlo son significativamente superiores en una acción estática que en una acción dinámica.

El **tiempo para manifestar la fuerza** en la mayoría de las **acciones motrices deportivas** ejecutadas a la máxima intensidad (p. ej., desplazamientos, saltos y lanzamientos) es muy corto, ~80 a 180 msec (Zatsiorsky, 1995). Extrapolando este dato al ejemplo de curva fuerza-tiempo mostrado en la figura 3.4, se observa que el tiempo de ejecución de la mayoría de las acciones deportivas induce a una manifestación de fuerza muy inferior a la máxima disponible por el deportista (figura 3.6). Lógicamente, es deducible que el **déficit de fuerza** se incrementa al disminuir el tiempo disponible para la ejecución de una acción motriz.

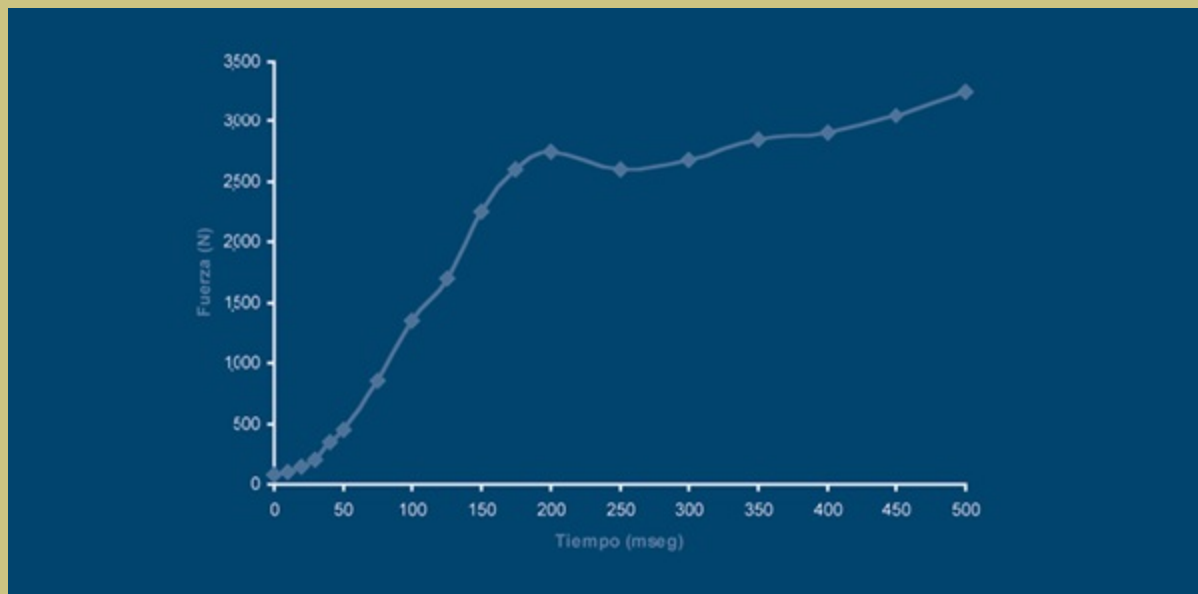


FIGURA 3.4. Relación entre la fuerza y el tiempo durante la ejecución de un ejercicio ante una resistencia insalvable (acción estática). Para manifestar la máxima fuerza, en este caso ante una resistencia insalvable, se requiere su manifestación durante un cierto período de tiempo. Durante este tiempo siempre aumenta la fuerza, pero el porcentaje de fuerza manifestada es mucho mayor al principio que al final.

Adaptado de Haff GG et al. J Strength Cond Res 2005;19:741-8.

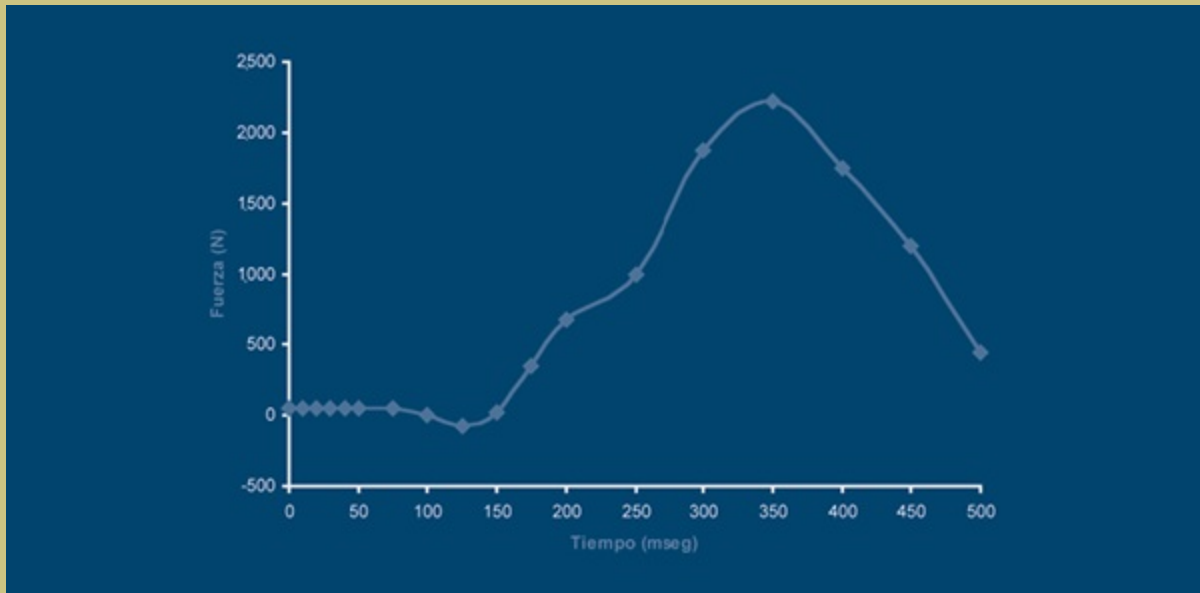


FIGURA 3.5. Relación entre la fuerza y el tiempo durante la ejecución de un ejercicio ante una resistencia de 100 kg (acción dinámica). En relación con la figura anterior, ante una resistencia superable también se requiere un cierto tiempo para manifestar la máxima fuerza, pero en este caso no se evidencia durante todo el desplazamiento un continuo incremento de la fuerza. Así, la máxima fuerza se manifiesta en la parte inicial del movimiento debido a que la resistencia a superar es superior al tener que vencer la inercia de la ausencia de movimiento inicial.

Adaptado de Haff GG et al. J Strength Cond Res 2005;19:741-8.

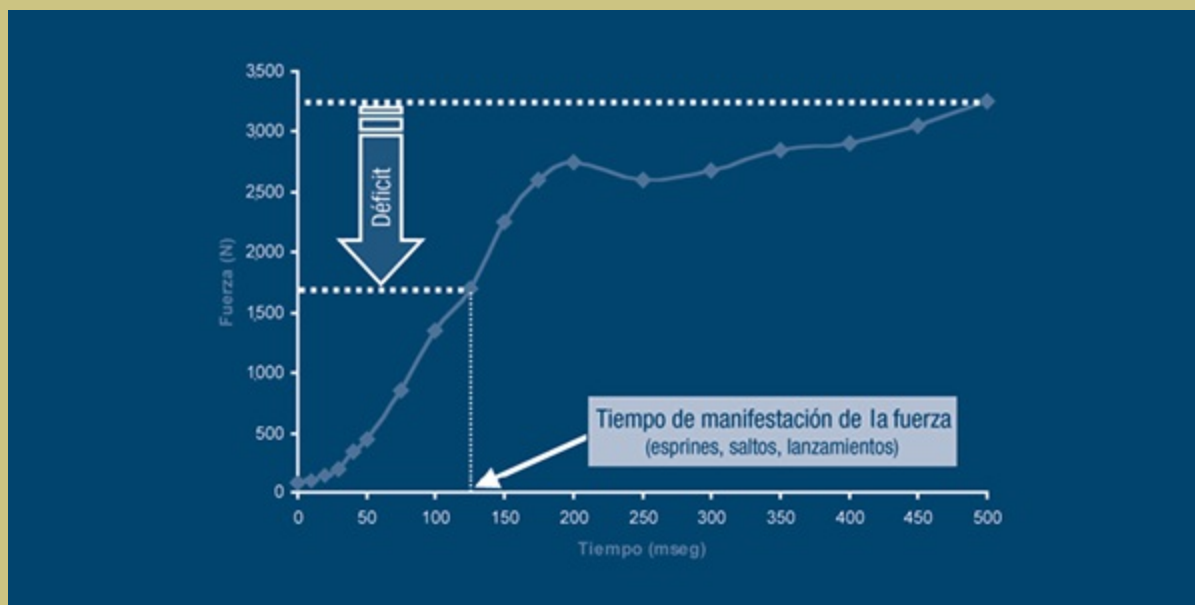


FIGURA 3.6. Representación de la limitación del tiempo de ejecución de las acciones motrices deportivas sobre el nivel de manifestación de la fuerza. El tiempo disponible para manifestar la fuerza en la mayoría de las modalidades deportivas es muy inferior al tiempo requerido para manifestar la máxima fuerza ante una resistencia insalvable. Esto inevitablemente implica que el deportista no puede manifestar en las acciones deportivas el potencial de fuerza de que dispone, siendo elevado el déficit o porcentaje de fuerza que no es capaz de manifestar.

Original del autor a partir de la figura de Haff GG et al. J Strength Cond Res 2005;19:741-8.

Desde esta perspectiva, para una determinada modalidad deportiva, un deportista es más fuerte cuando es capaz de manifestar un mayor porcentaje relativo de fuerza en el tiempo de que dispone para manifestarla. Por ejemplo, en la comparación de un saltador de longitud y un halterófilo, el saltador debe ser relativamente más fuerte cuando dispone de poco tiempo para manifestar la fuerza, y el halterófilo cuando el tiempo disponible le permite manifestar el máximo nivel de fuerza (figura 3.7). El efecto final perseguido en el proceso de entrenamiento de fuerza es incrementar para cada modalidad deportiva la fuerza aplicada en el intervalo de tiempo que dura la ejecución de las acciones motrices de competición (figura 3.8). Esto implica que para una misma resistencia, por ejemplo, el peso corporal o un implemento deportivo, el deportista consiga desarrollar mayor velocidad y en consecuencia mayor fuerza, reduciendo para ese nivel de carga el déficit de fuerza. Así pues, el objetivo de todos los movimientos realizados a la máxima intensidad es

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

incrementar el **índice de manifestación de fuerza (IMF)**, que relaciona el **nivel de fuerza** desarrollado en el **tiempo** de que se dispone para su manifestación.

Hemos establecido que para una determinada carga existe una relación directa entre la fuerza, la velocidad y la potencia. Para **distintas magnitudes de carga**, la relación entre la fuerza y la velocidad (**curva fuerza-velocidad**) es inversa, manifestándose **más fuerza** asociada a una **menor velocidad** de desplazamiento al aumentar progresivamente la intensidad relativa de la carga (figuras 3.2 y 3.9). Esta relación plantea dos objetivos diferenciados de entrenamiento: **intensidad relativa muy elevada** (>70% 1RM) para desarrollar **niveles elevados de fuerza**, e **intensidad relativa muy baja** (<30% 1RM) para desarrollar **niveles elevados de velocidad** de desplazamiento de la carga. El desarrollo de la máxima potencia (**curva potencia-velocidad**) es otro de los objetivos del entrenamiento de fuerza. Debido a que la potencia es el producto de la fuerza por la velocidad, para la mayoría de los ejercicios a una **intensidad relativa media** (40-60% 1RM) se manifiestan los **niveles más elevados de potencia** (figuras 3.2 y 3.10).

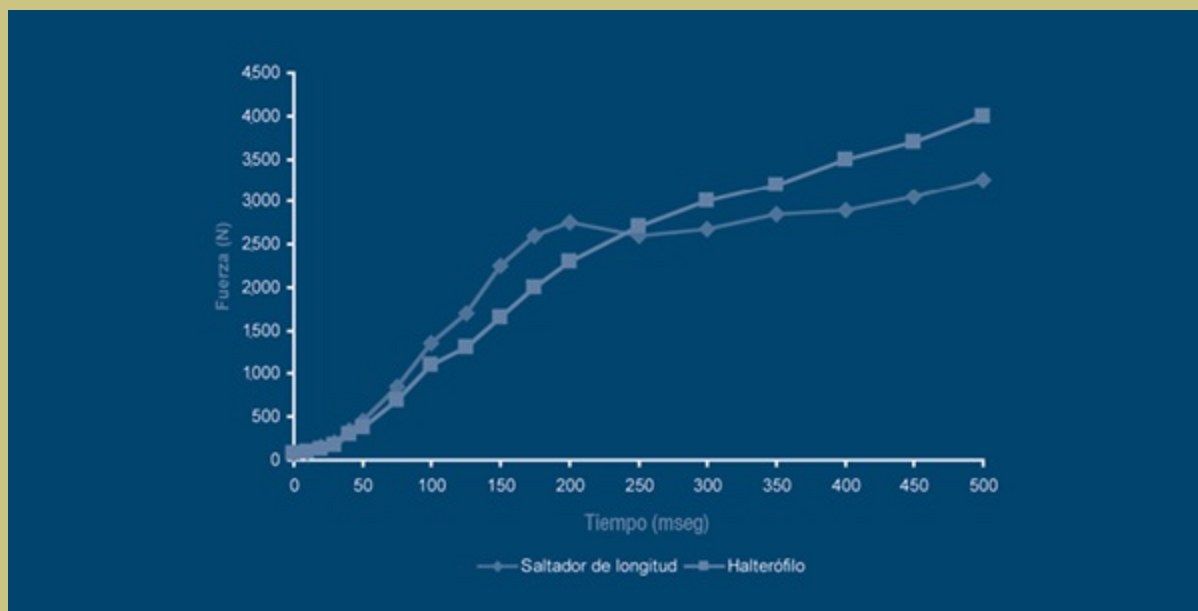


FIGURA 3.7. Comparación de la curva fuerza-tiempo de deportistas que disponen de tiempos diferentes para la ejecución de la acción motriz de competición. Las características de la aplicación de fuerza en el tiempo deben adecuarse al tiempo disponible para manifestar fuerza en cada modalidad deportiva. En esta comparación, un saltador de longitud requiere manifestar en un corto período de tiempo el máximo

porcentaje del potencial de fuerza de que dispone. Para ese tiempo, considérese que el saltador de longitud es más fuerte que el halterófilo. Sin embargo, como el halterófilo, que dispone de más tiempo para manifestar la fuerza en competición, es capaz de aplicar un mayor nivel de fuerza que el saltador de longitud si dispone del tiempo suficiente para manifestarla.

Original del autor con datos hipotéticos.

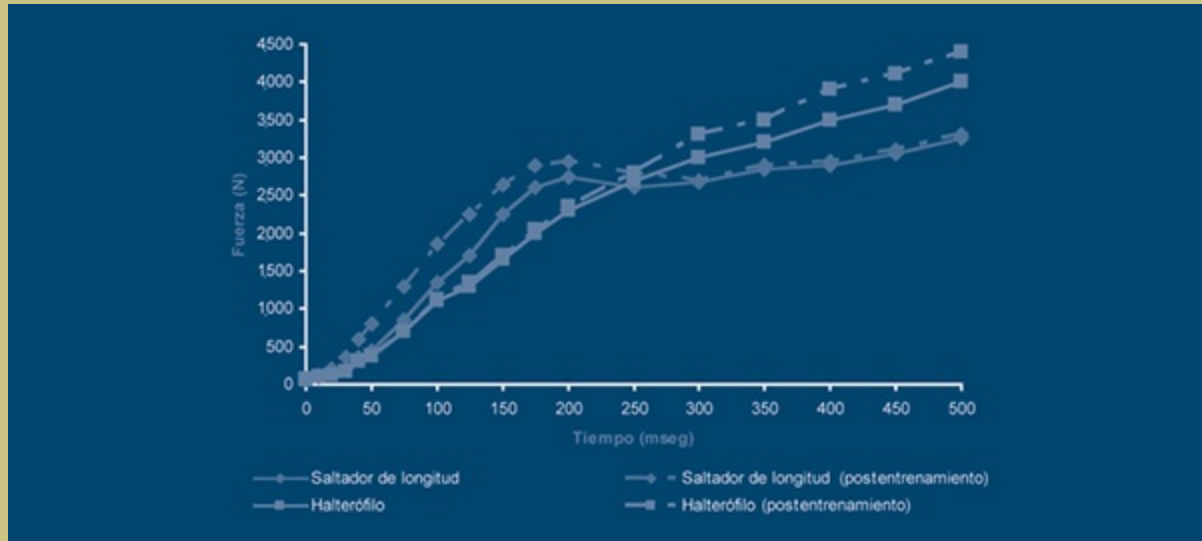


FIGURA 3.8. Representación en la curva fuerza-tiempo del efecto deseado con el entrenamiento de fuerza en deportistas que disponen para la ejecución de la acción motriz de competición de tiempos diferentes. El efecto final deseado en el entrenamiento de fuerza debe ser específico de las características de la manifestación de fuerza en competición. En este caso, obsérvese una mejora de la fuerza manifestada por el saltador de longitud cuando dispone de poco tiempo para manifestarla, y una mejora en el halterófilo de la fuerza manifestada en la parte final de la curva fuerza-tiempo.

Original del autor con datos hipotéticos.

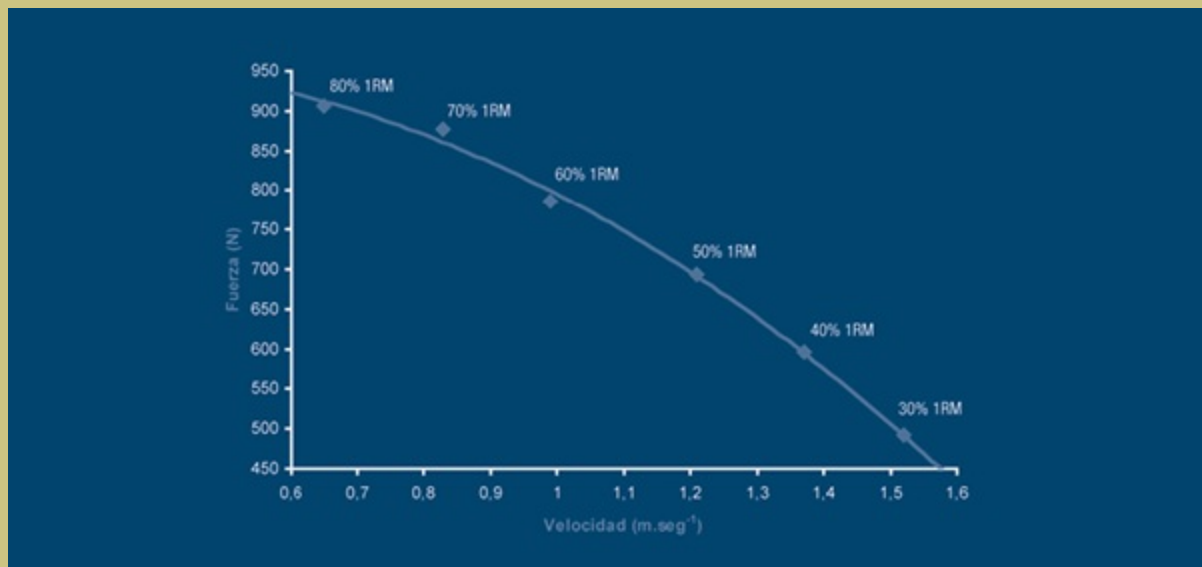


FIGURA 3.9. Relación entre la fuerza y la velocidad con la intensidad relativa de carga. Obsérvese un ejemplo real de la relación inversa que existe entre la fuerza y la velocidad manifestadas con distinta magnitud de carga, en este caso con diferentes %1RM en el ejercicio prensa de pecho. El efecto final del entrenamiento es manifestar más fuerza a la velocidad y el tiempo que requiere cada acción motriz específica. Para este objetivo se requieren efectos parciales asociados a una mejora de la fuerza manifestada con cargas superiores e inferiores a la de competición. Así, esta relación determina zonas de trabajo asociadas a manifestar más fuerza o más velocidad. Además, se podrá comprobar posteriormente la importancia que la determinación de la curva fuerza-velocidad tiene para determinar los efectos parciales del entrenamiento de fuerza y su reorientación.

Elaborado con datos de Cronin J et al. J Strength Cond Res 2003;17:148-55.

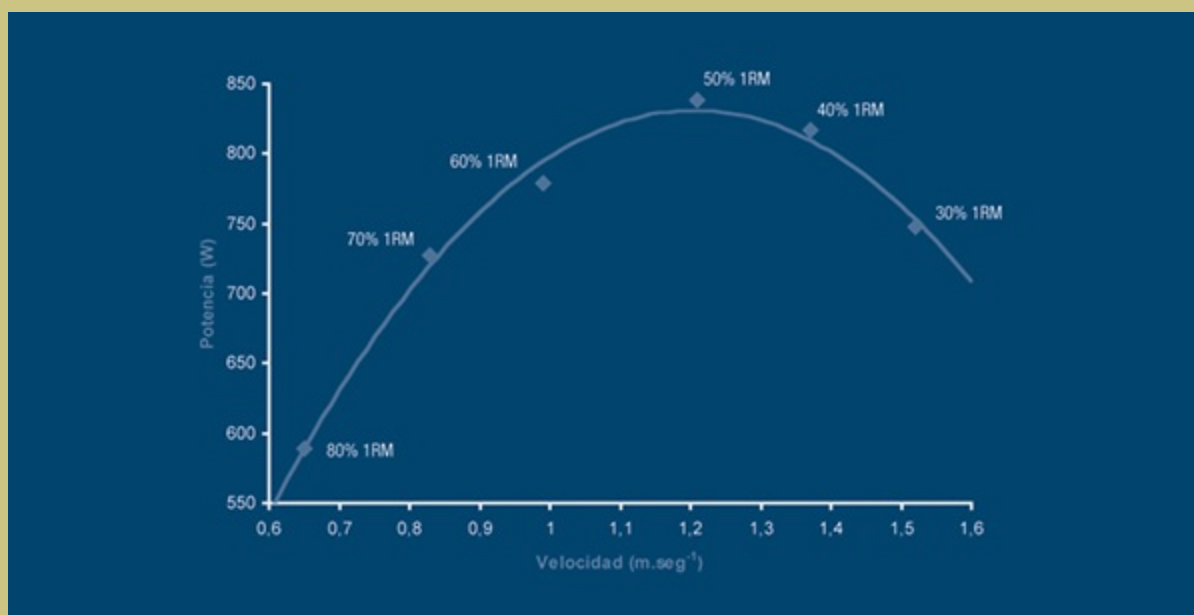


FIGURA 3.10. Relación entre la potencia y la velocidad con la intensidad relativa de carga. Obsérvese la curva de potencia correspondiente al producto de la fuerza y la velocidad manifestadas para cada intensidad de carga en el ejemplo de la figura anterior. Cabe comprobar que la máxima potencia se evidencia a una intensidad relativa media, en este caso al 50% de 1RM. Esto determina una nueva zona de trabajo, donde no se desarrollan niveles elevados de fuerza y de velocidad, pero se manifiesta la máxima potencia. Posteriormente, si se desea trabajar a la máxima potencia, es necesario determinar la curva de potencia debido a que la intensidad relativa de carga en que se manifiesta difiere entre ejercicios, deportistas y el entrenamiento realizado.

Elaborado con datos de Cronin J et al. J Strength Cond Res 2003;17:148-55.

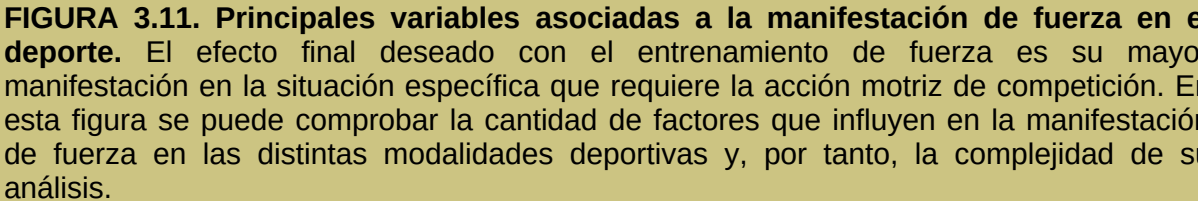
1.2. Manifestación de fuerza en los movimientos deportivos

En las distintas modalidades deportivas podemos encontrar una variedad infinita de situaciones motrices. Desde esta perspectiva, para cada situación motriz podemos definir una manifestación de fuerza diferente. De hecho, para la mayoría de disciplinas deportivas puede considerarse que el mejor deportista es el más fuerte, o al menos el que mejor aplica la fuerza en el contexto de la competición. La figura 3.11 sirve de hilo conductor mostrando la interrelación de las principales **variables asociadas a la manifestación de fuerza** en el deporte.

La magnitud de resistencia de la mayoría de las acciones deportivas es

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

superable por la fuerza que manifiesta el deportista y, como consecuencia, existe desplazamiento de la carga. Debido a que se evidencia movimiento externo, estas acciones se consideran dinámicas. En algunas modalidades deportivas se requiere manifestar fuerza mediante **acciones estáticas**, sin que se evidencie movimiento externo. Sin embargo, en la mayoría de estas acciones el deportista no necesita manifestar la máxima fuerza posible, y la ausencia de movimiento está determinada por la situación motriz que requiere la competición y no porque la magnitud de la resistencia sea insuperable. Éste es el caso, por ejemplo, de la fuerza manifestada en los deportes de tiro y en determinadas acciones de gimnasia deportiva, vela, deportes de motor, BTT, etc. Las **acciones dinámicas** son habitualmente complejas, requiriendo la coordinación de distintas cadenas cinéticas durante el movimiento simultáneo y sucesivo de distintas articulaciones. Estas acciones se caracterizan porque la fase de acortamiento de los músculos para superar la resistencia (**activación concéntrica**) está precedida por una fase de contramovimiento o estiramiento previo (**activación excéntrica**). Al finalizar la fase de estiramiento del músculo la velocidad es nula, evidenciando un período de tiempo de acción estática previo al comienzo de la fase de acortamiento del músculo. El tiempo de acción estática se incrementa cuanto mayor es el nivel de la resistencia ejercida por la carga. La acción combinada de la sucesión de la fase excéntrica, estática y concéntrica se define habitualmente como el **ciclo de estiramiento-acortamiento** (CEA) (figura 3.12).



El estiramiento previo del músculo es relevante para el rendimiento mecánico en la fase concéntrica del movimiento. Es difícil encontrar acciones motrices que requieran exclusivamente la ejecución concéntrica del movimiento. Sin embargo, hay que considerar que la importancia del estiramiento previo del músculo parece estar limitada al tiempo que dura la transición entre la fase excéntrica y la concéntrica. Por este motivo, las acciones motrices que requieren superar una resistencia elevada son consideradas prioritariamente acciones concéntricas debido a que, al incrementarse la fase estática de la acción muscular, el rendimiento depende en mayor medida de la fuerza producida durante el acortamiento del músculo. En cambio, existen acciones motrices en las que el rendimiento depende exclusivamente de la fuerza manifestada durante la fase excéntrica del movimiento, e incluso acciones en las que no existe fase concéntrica. En estas acciones motrices la resistencia es muy elevada y/o se desplaza a gran

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

velocidad y se precisa su desaceleración. Éste es el caso de la fase excéntrica al superar las vallas en las carreras de atletismo, de la interceptación de un móvil a gran velocidad o de la recepción en los saltos de esquí, gimnasia deportiva, patinaje artístico, etc. Además, la mayoría de las acciones dinámicas son **acciones balísticas**, ya que el deportista pierde contacto con la superficie sobre la que ejerce la fuerza al finalizar la fase concéntrica del movimiento. Así ocurre en los desplazamientos, saltos, lanzamientos, golpes, etc.

Las acciones motrices pueden clasificarse en acíclicas y cíclicas. Las **acciones acíclicas** implican la ejecución de un único movimiento con una fase inicial y una final perfectamente diferenciadas (p. ej., lanzamientos, saltos y golpes). Las **acciones cíclicas** se caracterizan por la repetición sucesiva de una secuencia fija de movimientos (p. ej., nadar, correr, pedalear y remar). En una acción acíclica el deportista siempre puede manifestar, si así lo requiere el contexto de la competición, la máxima fuerza posible para la magnitud de resistencia a superar. En las acciones cíclicas, la fatiga asociada a procesos metabólicos y neuromusculares determina que la máxima manifestación de fuerza o fuerza explosiva sólo es posible en los primeros ciclos del esfuerzo (~5 seg) (Hirvonen *et al.*, 1987). Por este motivo, en las modalidades deportivas que requieren la sucesión cíclica de movimientos durante un esfuerzo de más de 5 seg no es posible la manifestación de fuerza explosiva, regulando el deportista el porcentaje de manifestación de fuerza en función de la duración de la competición.



FIGURA 3.12. Ejemplo del ciclo de estiramiento-acortamiento asociado a la acción muscular de la mayoría de los movimientos deportivos. La mayoría de las acciones motrices se ajustan al ejemplo establecido: estiramiento previo de los grupos musculares que van a ejercer la fuerza, en este caso prioritariamente el cuádriceps, ausencia de movimiento cuando termina el estiramiento y acortamiento asociado a la contracción muscular que genera la fuerza. Las distintas fases establecidas justifican el término ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) para definir las características de estas acciones motrices. Se comprobará posteriormente la importancia del CEA para el desarrollo de la fuerza en la mayoría de las modalidades deportivas.

Original del autor con permiso del deportista.

En las acciones motrices, la fuerza debe aplicarse sobre **distintas superficies y materiales**. Las características del medio determinan el nivel de manifestación de fuerza. Por ejemplo, la fuerza aplicada es inferior si sobre una bicicleta las zapatillas no están ancladas en los pedales, si disminuye la superficie de contacto o si las dimensiones y la tensión del cordaje de las raquetas no es el adecuado. De especial interés es la variación de la magnitud de la fuerza en los desplazamientos en carrera en función del tipo de superficie. En este caso, podemos modificar la magnitud de la fuerza en el entrenamiento realizando desplazamientos sobre barro, arena, hierba, tierra, tartán y material sintético, y sobre superficies con mayor o menor inclinación del terreno.

En relación con el **tipo de resistencia**, el aspecto más relevante es que la manifestación de fuerza se realice para **superar o no el propio peso corporal**. La fuerza manifestada para superar el peso corporal difiere en función del contexto de competición de las diferentes modalidades deportivas. Por ejemplo, al igual que con cualquier otro tipo de resistencia, para superar el peso corporal se requiere un mayor nivel de fuerza cuando se pretende realizar un mayor cambio de la inercia de movimiento, los primeros ciclos de aceleración o desaceleración. Sin embargo, el aspecto más determinante es que la magnitud de la resistencia, y en consecuencia la necesidad de fuerza, se incrementa lógicamente cuando aumenta el peso corporal del deportista. En este caso, para obtener el mismo nivel de rendimiento, se requiere un incremento equivalente al peso corporal en la capacidad de manifestación de fuerza. Por este motivo, el peso corporal de los deportistas con éxito es menor al incrementar el número de veces que se requiere superarlo en una determinada modalidad deportiva, y el peso corporal de un saltador es menor que el de un lanzador. En cambio, un incremento de peso corporal asociado a una mayor hipertrofia muscular

permite optimizar el rendimiento de las acciones motrices que requieren la aplicación de fuerza sobre un implemento deportivo o sobre los rivales. Este análisis es, por tanto, determinante para el grado de hipertrofia muscular deseado con el entrenamiento de fuerza.

En las **acciones acíclicas** existe una elevada interrelación entre la magnitud de la resistencia, la duración de la aplicación de fuerza y la velocidad de la manifestación de fuerza. De hecho, como se ha indicado, la magnitud de la resistencia determina el nivel de **manifestación de fuerza explosiva**, el tiempo de aplicación de fuerza y la velocidad de movimiento.

En las **acciones cíclicas** existe una elevada interrelación entre la magnitud de la resistencia, la velocidad de manifestación de fuerza y el número de veces que se manifiesta la fuerza. En las acciones motrices cíclicas, si se ejecuta cada ciclo o repetición a la máxima intensidad posible, la magnitud de la resistencia determina el número de ciclos que pueden ser ejecutados manifestando la máxima fuerza o **fuerza explosiva**, y en su caso también el número total de ciclos. A este respecto, un ejemplo ilustrativo es el menor número total de repeticiones y a la máxima velocidad que pueden ser ejecutadas al aumentar la intensidad relativa de carga en la ejecución cíclica de un ejercicio con pesas. En la mayoría de las modalidades deportivas cíclicas, que previamente tienen definida la duración o distancia de competición, aunque la magnitud de la resistencia sea la misma independientemente de la duración del esfuerzo, por ejemplo, el peso corporal, respecto a la máxima fuerza, el porcentaje de fuerza que puede ser aplicado en cada ciclo de movimiento disminuye al aumentar la duración de la competición. En consecuencia, podemos indicar que en las modalidades deportivas cíclicas el número de veces que hay que manifestar la fuerza determina el nivel de fuerza que puede ser manifestado. Por ejemplo, todas las carreras de atletismo requieren la **manifestación de fuerza resistencia** superando la misma magnitud de resistencia, el peso corporal. Sin embargo, el porcentaje de fuerza manifestado disminuye progresivamente al aumentar la duración de la carrera. En todas estas situaciones en las que, debido a la **duración del esfuerzo**, no se puede realizar la máxima velocidad de movimiento en cada ciclo, la optimización del rendimiento está determinada por los procesos que inciden en la aplicación de fuerza resistencia, que implica la manifestación prolongada de fuerza de forma continua ante una determinada resistencia. Al igual que la fuerza explosiva, la fuerza resistencia tiene que definirse en relación con la magnitud de la resistencia a superar. Sin

embargo, la fuerza resistencia tiene que definirse también en relación con la máxima fuerza y/o velocidad que se puede manifestar ante una determinada magnitud de la resistencia en función de la duración del esfuerzo.

El contexto de competición de la mayoría de las **acciones estáticas** determina la **manifestación de fuerza resistencia**. En las acciones estáticas, al no existir movimiento, no es posible regular el esfuerzo aplicando un menor nivel de fuerza. En estas acciones, la **magnitud de la resistencia** determina la duración máxima del esfuerzo y el porcentaje de fuerza aplicado respecto a la máxima fuerza de que dispone el deportista. Así, por ejemplo, un peso de 50 kg se puede mantener menos tiempo que un peso de 10 kg debido a que el porcentaje de fuerza solicitado es superior.

En las **acciones motrices cíclicas**, una misma velocidad de desplazamiento puede obtenerse con una combinación diferente de la **magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza** en función de las características de los deportistas. En estas modalidades deportivas, la frecuencia de aplicación de fuerza determina lógicamente el número de veces que se manifiesta la fuerza. Para desarrollar una misma velocidad de desplazamiento, un incremento de la frecuencia de aplicación disminuye la magnitud de fuerza necesaria en cada ciclo de movimiento. Sin embargo, de forma global, podemos decir que tanto la magnitud como la frecuencia de aplicación de fuerza disminuyen de forma natural al aumentar la duración de la competición. La influencia de la frecuencia de aplicación sobre la magnitud de la fuerza es más relevante en los esfuerzos intermitentes, caracterizados por la sucesión con períodos de recuperación activa y pasiva de acciones acíclicas, cíclicas y estáticas a una intensidad elevada. Por ejemplo, el golpeo en el tenis es una acción acíclica que se sucede con un período de descanso inferior a 2 seg (Fernández *et al.*, 2005). En estas modalidades deportivas, una mayor frecuencia de aplicación de fuerza es consecuencia de una disminución del tiempo que transcurre entre la ejecución de acciones a intensidad elevada. En los **esfuerzos intermitentes**, la recuperación incompleta determina que la magnitud de fuerza aplicada ante la misma resistencia disminuya progresivamente en la sucesión de varias acciones de intensidad elevada. En estos deportes, la optimización del rendimiento, desde la perspectiva de la condición física, está determinada por la **resistencia a la fuerza**, que implica la manifestación prolongada de fuerza intermitente ante una determinada resistencia. Esta capacidad puede diferenciarse entre **resistencia a la fuerza explosiva** y **resistencia a la fuerza resistencia** dependiendo de la manifestación de

fuerza que requieran las acciones motrices en competición. La optimización de la **resistencia a la fuerza explosiva** determina que en las sucesivas repeticiones de acciones ejecutadas a la máxima intensidad, por ejemplo, los esprints, saltos, lanzamientos y golpes en los deportes de equipo, se evidencie el menor descenso posible de la magnitud de aplicación de fuerza. Igualmente, la **resistencia a la fuerza resistencia** determina que, en las sucesivas repeticiones de acciones que requieren manifestación de fuerza resistencia, la magnitud de aplicación de esta fuerza disminuya en el menor grado posible.

A pesar de que en el análisis mostrado se evidencia una gran variabilidad en la manifestación de fuerza en el deporte, consideramos que únicamente existen **dos objetivos en el entrenamiento de fuerza**: (i) el **desarrollo de la fuerza explosiva**, y (ii) el **desarrollo de la fuerza resistencia**. Para ambas manifestaciones, es interesante diferenciar si el objetivo del entrenamiento es desarrollar la manifestación de fuerza con **cargas altas** ($> 70\%$ 1RM), **cargas medias** ($30\text{-}70\%$ 1RM) o **cargas bajas** ($< 30\%$ 1RM). En el trabajo con pesas, la diferenciación de la intensidad de carga se puede realizar de forma objetiva. Sin embargo, resulta complicado determinar la magnitud relativa de fuerza manifestada en las distintas acciones motrices, ya que no es posible medir en la mayoría de gestos de competición la máxima fuerza que puede aplicar un deportista con la máxima carga posible. En este sentido, la magnitud de la carga debe definirse de forma subjetiva, pudiendo establecer como criterios el peso del implemento, la inercia del movimiento, el tiempo que cabría mantener la aplicación de fuerza y el número de ciclos en los que se manifiesta la fuerza. En las tablas 3.1 y 3.2 se muestra, respectivamente, para la manifestación de fuerza explosiva y fuerza resistencia, ejemplos de acciones motrices deportivas para las distintas magnitudes de carga. Sin embargo, más que la definición de la magnitud de carga, desde una perspectiva práctica, lo importante en el proceso de entrenamiento de la fuerza es diferenciar cuándo trabaja el deportista con una carga que le permite desarrollar mayor o menor fuerza que en la competición. En las acciones cíclicas en las que se manifiesta la fuerza resistencia, aunque la carga sea la misma para las diferentes distancias de una misma modalidad deportiva, consideramos a efectos prácticos que la carga es menor conforme aumenta la duración de la competición debido a que en esta dirección disminuye la magnitud de fuerza manifestada. Lógicamente, el desarrollo específico de la fuerza explosiva y de la fuerza resistencia tiene que incidir en la ejecución de

la acción motriz específica, lo que garantiza una adecuada interrelación de otras variables analizadas: acciones muscular y motriz, medio de aplicación de fuerza, resistencia que hay que superar, magnitud fuerza, tiempo de aplicación de fuerza, velocidad de movimiento, frecuencia y número de veces que se manifiesta la fuerza.

TABLA 3.1. Ejemplos de acciones deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva con cargas altas, medias y bajas

<i>Carga alta</i>	<i>Carga media</i>	<i>Carga baja</i>
Levantamiento en halterofilia	Aceleración de una carrera de velocidad	Fase de máxima velocidad de una carrera
Recepción en el salto de esquí y en gimnasia deportiva	Aceleración y cambios de dirección en deportes de equipo y de raqueta	Batida de salto de longitud
Melé en rugby	Salto con poca inercia (gimnasia rítmica, salto de altura)	Lanzamientos y golpes en voleibol, balonmano, hockey, deportes de raqueta, golf, etc.
Agarres, levantamientos y empujones en deportes de combate	Lanzamiento de peso	Golpes en boxeo, toques en esgrima

Original del autor.

TABLA 3.2. Ejemplos de acciones deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia con cargas altas, medias y bajas

<i>Carga alta</i>	<i>Carga media</i>	<i>Carga baja</i>
Empujones y agarres en deportes de lucha y en rugby	Primeros segundos de competición en deportes de remo	Todos los deportes con acciones cíclicas
Algunos elementos de gimnasia deportiva	Pedaleo con pendiente elevada	Descensos en bicicleta
Escalada	Descensos de esquí	Deportes de tiro
	Terreno abrupto en deportes de motor y descenso de BTT	Deportes de motor
	Vela	

Original del autor.

El entrenamiento de la **resistencia a la fuerza explosiva** y de la **resistencia a la fuerza resistencia** persigue dos objetivos diferenciados: (i) el **desarrollo de la fuerza explosiva** o **desarrollo de la fuerza resistencia**, y (ii) la **capacidad de resistencia** de la manifestación de fuerza explosiva y de fuerza resistencia en la aplicación intermitente de estas manifestaciones. El

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

primer objetivo coincide con los objetivos planteados para el desarrollo de la fuerza, y el segundo objetivo está asociado fundamentalmente a los procesos metabólicos que suceden en el período de recuperación. Por este motivo, el análisis de la resistencia a la fuerza explosiva y de la resistencia a la fuerza resistencia se realiza en el capítulo 4.

Síntesis

- La fuerza es la única capacidad “pura” de las tradicionalmente asociadas a la condición física de los deportistas. El movimiento o su ausencia es consecuencia de la aplicación de fuerza.
- Fuerza, velocidad, aceleración y potencia son variables mecánicas derivadas de la masa, la distancia y el tiempo.
- A efectos prácticos, cuando se aplica la máxima intensidad posible en el desplazamiento de una determinada carga o resistencia, la fuerza, velocidad, aceleración y potencia pueden ser utilizadas como conceptos sinónimos. Debemos considerar que sólo se manifiesta la máxima fuerza cuando se desplaza la carga con la máxima aceleración posible, lo que determina que se ha desarrollado la máxima velocidad y, por tanto, la máxima potencia.
- Al referirnos a distintos niveles de carga, la fuerza, velocidad y potencia no pueden ser utilizados como sinónimos. Debemos considerar que cuanto mayor sea el nivel de carga, mayor será la fuerza que puede aplicarse y menor la velocidad de desplazamiento, y por tanto, cuanto menor sea el nivel de carga, menor será la magnitud de fuerza y mayor la velocidad. La máxima potencia, resultado del producto de la fuerza por la velocidad, se manifiesta habitualmente a una intensidad de carga relativa media.
- El tiempo de que se dispone para manifestar la fuerza es determinante de su magnitud. A mayor nivel de carga, menor es la velocidad de movimiento y, por tanto, mayor es el tiempo de manifestación de fuerza. Por eso, el máximo potencial de fuerza se manifiesta ante una resistencia insalvable.
- La correcta identificación de las características de la fuerza aplicada en las acciones motrices de las distintas modalidades deportivas requiere la definición de numerosas variables: tipo de acción muscular (concéntrica,

excéntrica, excéntrica-concéntrica, isométrica, balística), tipo de acción motriz (acíclica, cíclica), medio en que se aplica la fuerza, resistencia a superar (implemento, peso corporal), magnitud de la resistencia (alta, media, baja), duración de la aplicación de fuerza, velocidad de manifestación de fuerza, número de veces que se manifiesta la fuerza y frecuencia de aplicación de la fuerza.

- Aun considerando la cantidad de variables que definen la manifestación de fuerza, a efectos prácticos es posible diferenciar entre las modalidades deportivas en las que se puede manifestar la máxima fuerza posible, la fuerza explosiva, y las modalidades deportivas en las que debido fundamentalmente a la duración del esfuerzo no es posible aplicar la máxima fuerza posible, requiriéndose la manifestación de fuerza continuada y fuerza resistencia, que será de mayor o menor magnitud en función de la duración del esfuerzo.
- Utilizamos el concepto de fuerza explosiva, debido a su extendido uso a nivel práctico, cuando se manifiesta la máxima fuerza posible ante una determinada carga o resistencia. En las acciones motrices de la mayoría de las modalidades deportivas que requieren manifestar el mayor nivel de fuerza posible, la resistencia a superar es relativamente baja y, por tanto, se dispone de un tiempo relativamente corto para manifestar la fuerza. Esto determina que la magnitud de fuerza aplicada sea muy inferior al máximo potencial de fuerza de que dispone el deportista. Para estas acciones, el objetivo del entrenamiento es incrementar la fuerza aplicada ante la resistencia a superar en la competición y/o aplicarla en menos tiempo.
- Para las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia, el objetivo de entrenamiento depende de su contexto de aplicación: aplicar más fuerza y/o mayor frecuencia durante el desplazamiento requerido para recorrer una distancia y requerir menos fuerza para desplazarse a una determinada velocidad o para realizar una acción motriz concreta.
- En numerosas modalidades deportivas se requiere la manifestación sucesiva de fuerza explosiva o fuerza resistencia con períodos de tiempo de pausa pasiva y/o activa de distinta duración. La manifestación de fuerza en este contexto se define como resistencia a la fuerza, considerando que el tiempo de pausa pasiva y/o activa es insuficiente para mantener la misma aplicación de fuerza en el transcurso de la

competición, y por tanto, su capacidad determina el grado de disminución de la magnitud de la fuerza aplicada.

Cuestionario de asimilación

1. Indica qué diferencias deberían establecerse en la curva fuerza-tiempo entre un deportista que tiene que vencer en su especialidad resistencias altas a gran velocidad y otro que tiene que vencer resistencias ligeras o medias a gran velocidad.
2. Establece la relación entre la resistencia a vencer y la fuerza aplicada.
3. Explica la relación entre fuerza explosiva, velocidad de movimiento y resistencia a vencer.
4. Ante una carga en un determinado ejercicio, que representa el 70% de la carga máxima dinámica de un deportista, indica qué componente del entrenamiento va a determinar la fuerza máxima aplicada con este nivel de carga.
5. Ordena según el nivel de fuerza: la fuerza máxima dinámica máxima, la fuerza máxima isométrica y la fuerza máxima excéntrica.
6. Indica si un deportista puede incrementar la fuerza aplicada con el máximo nivel de carga y simultáneamente aumentar el déficit de fuerza con la carga específica de competición.
7. Justifica si es posible la siguiente afirmación: después de un período de entrenamiento un deportista ha incrementado su déficit de fuerza con el 70% de la carga dinámica máxima, y simultáneamente la fuerza que aplica con ese nivel de carga es superior.
8. Justifica si un menor déficit de fuerza implica siempre una mejora del rendimiento deportivo.
9. Justifica la relación proporcional entre la fuerza y la velocidad.
10. Establece de qué depende la fuerza que deja de manifestar un deportista en una determinada acción motriz.
11. Define el índice de manifestación de fuerza.
12. Justifica la relación inversa entre la fuerza y la velocidad.
13. Pon un ejemplo en el que exista un incremento del déficit de fuerza

acompañado de una mejora del rendimiento.

- 14.** Justifica la fase de la curva fuerza-tiempo presente en la mayoría de las disciplinas deportivas.
- 15.** Si un sujeto aplica una fuerza de 1.500 N con su carga dinámica máxima, establece su déficit de fuerza cuando manifiesta 800 N al levantar una carga inferior.
- 16.** Establece las relaciones entre la potencia, la velocidad, la fuerza y la intensidad relativa de carga.
- 17.** Establece las diferencias entre fuerza explosiva, fuerza resistencia y resistencia a la fuerza.

Factores asociados al nivel de entrenamiento específico de las distintas manifestaciones de fuerza

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los factores neurofisiológicos y metabólicos que determinan la manifestación de fuerza.
- Comprender qué objetivos debe perseguir el entrenamiento de fuerza para optimizar la manifestación de fuerza explosiva requerida en las distintas acciones motrices.
- Comprender qué objetivos debe perseguir el entrenamiento de fuerza para optimizar la manifestación de fuerza resistencia requerida en las distintas acciones motrices.

Índice

2.1. Factores asociados a la manifestación de fuerza explosiva

Capacidad contráctil

- Distribución porcentual del tipo de fibra muscular
- Hipertrofia muscular
- Reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices
- Metabolismo

Ciclo de estiramiento-acortamiento

Transferencia de fuerza a la acción motriz específica

2.2. Factores asociados a la manifestación de fuerza resistencia

Capacidad contráctil

- Distribución porcentual del tipo de fibra muscular
- Hipertrofia muscular
- Reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices

– Metabolismo

Ciclo de estiramiento-acortamiento

Transferencia de fuerza a la acción motriz específica

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El movimiento es consecuencia de la transformación de energía química en energía mecánica a partir de los distintos procesos metabólicos que permiten la contracción muscular. Pero, además de la influencia metabólica, la capacidad para generar fuerza depende de otros factores neurofisiológicos que adquieren una relevancia diferenciada en función de la manifestación de fuerza aplicada. En este apartado se analizan los principales conceptos relacionados con estos factores con el objeto de determinar su importancia para el entrenamiento de las dos manifestaciones de fuerza requeridas en las distintas modalidades deportivas, fuerza explosiva y fuerza resistencia.

2.1. Factores asociados a la manifestación de fuerza explosiva

Capacidad contráctil

La **capacidad contráctil** del músculo define su capacidad para manifestar fuerza en la **fase concéntrica** del movimiento, eliminando la influencia del estiramiento previo, y determina en un movimiento aproximadamente el 80-90% de los niveles de fuerza. La capacidad contráctil depende de la interrelación de varios factores como la **distribución porcentual del tipo de fibra muscular**, la **hipertrofia del músculo**, el **reclutamiento** y la **frecuencia de estimulación de unidades motrices** y el **metabolismo**.

Distribución porcentual del tipo de fibra muscular

La capacidad de desempeño del músculo esquelético humano depende en parte de las varias isoformas de las proteínas contráctiles. La miosina es una de las proteínas claves de la contracción muscular. La identificación de distintas propiedades histoquímicas en la enzima ATPasa encontrada en la región globular de la cabeza de la miosina determina distintos tipos de miosina y, por tanto, distintos **tipos de fibras musculares** (Fry, 2004), que a su vez están influidas por el tipo de nervio motor que las inerva. En el músculo encontramos una gran variedad de fibras musculares, desde las **fibras tipo I**, que se caracterizan por una elevada **capacidad de resistencia** y una velocidad de contracción lenta, hasta las **fibras tipo IIB**, que son menos

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

resistentes y son capaces de realizar una **contracción muy rápida**. De esta forma se identifican también otros tipos de fibras musculares que podemos considerar híbridas, ya que tienen características intermedias de las fibras tipo I y tipo IIB (figura 3.13). Usando esta terminología, en este manual haremos referencia a la clasificación más usada en los estudios científicos, **fibras tipo I, tipo IIA y tipo IIB**.

Un determinado grupo muscular presenta una proporción concreta de los distintos tipos de fibra muscular. Generalmente, los músculos implicados en movimientos balísticos y rápidos, como los de las extremidades, tienen un alto porcentaje de fibras tipo II, mientras que los músculos largos que recubren el tronco y los músculos posturales se caracterizan por un alto porcentaje de fibras tipo I. Numerosos estudios han mostrado que para un mismo grupo muscular la **proporción del tipo de fibra** muscular **difiere significativamente entre los deportistas** (Fry, 2004; Bosco, 2000).



FIGURA 3.13. Tipo de fibra muscular en relación con su velocidad de contracción y su capacidad de resistencia. Véanse los distintos tipos de fibra que caracterizan el músculo esquelético. Además de los tipos de fibra muscular más importantes, I, IIA y IIB, existen fibras intermedias que pueden convertirse en uno u otro tipo de fibra, por ejemplo, en función de las características del entrenamiento realizado. Tiene gran importancia para el rendimiento de las distintas modalidades deportivas la relación entre el tipo de fibra muscular y su capacidad de resistencia o para aplicar más fuerza en menos tiempo.

Adaptado de Fry AC. Sports Med 2004;34:663-79.

Puesto que el tipo de fibra determina tanto la velocidad de contracción muscular como su resistencia a la fatiga, es evidente que la **distribución de fibras en los grupos musculares** implicados en las distintas modalidades deportivas es uno de los principales factores determinantes del **rendimiento**. Como demuestran numerosos estudios (Fry, 2004; Bosco *et al.*, 2000; Bosco y Komi, 1979), en las modalidades deportivas en que se requiere manifestar

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

la **fuerza explosiva** es necesario que los deportistas dispongan de un **alto porcentaje de fibras tipo II**. En la figura 3.14 se observa que los deportistas con un mayor porcentaje de fibras tipo II son capaces de manifestar mayor nivel de fuerza, requiriendo además menos tiempo para su aplicación. Esto implica que los deportistas con un elevado porcentaje de fibras tipo II son capaces de desarrollar una mayor velocidad de movimiento en las acciones motrices debido a que desarrollan más fuerza y a que tardan menos tiempo en manifestarla.

La distribución del tipo de fibra muscular es todavía más relevante para el rendimiento deportivo si consideramos que es difícilmente modificable con el entrenamiento. La evidencia científica y la empírica demuestran que un deportista lento nunca podrá ser muy rápido, y viceversa. Un aspecto de interés es que los estudios demuestran que la **conversión** más factible **del tipo de fibra con el entrenamiento** es la transformación de fibras más rápidas en fibras más lentas. De hecho, aunque se ha observado después de un período de entrenamiento combinado de sobrecargas y esprines una transformación de fibras tipo I en fibras tipo IIA (Andersen *et al.*, 2000), no conocemos ningún estudio que haya mostrado la conversión de fibras tipo I o de fibras tipo IIA en fibras tipo IIB. Sin embargo, numerosos estudios demuestran después de un período de entrenamiento la transformación de fibras tipo IIB en tipo IIA (Fry, 2004) e incluso la conversión progresiva de fibras tipo IIB en tipo IIA y tipo I (Baumann *et al.*, 1987). La transformación de las fibras rápidas y/o de sus propiedades en fibras más lentas es un proceso negativo para la optimización del rendimiento en las acciones motrices que requieren la manifestación de la fuerza explosiva, y por tanto, se debe considerar su análisis en el método de entrenamiento de estas modalidades deportivas.

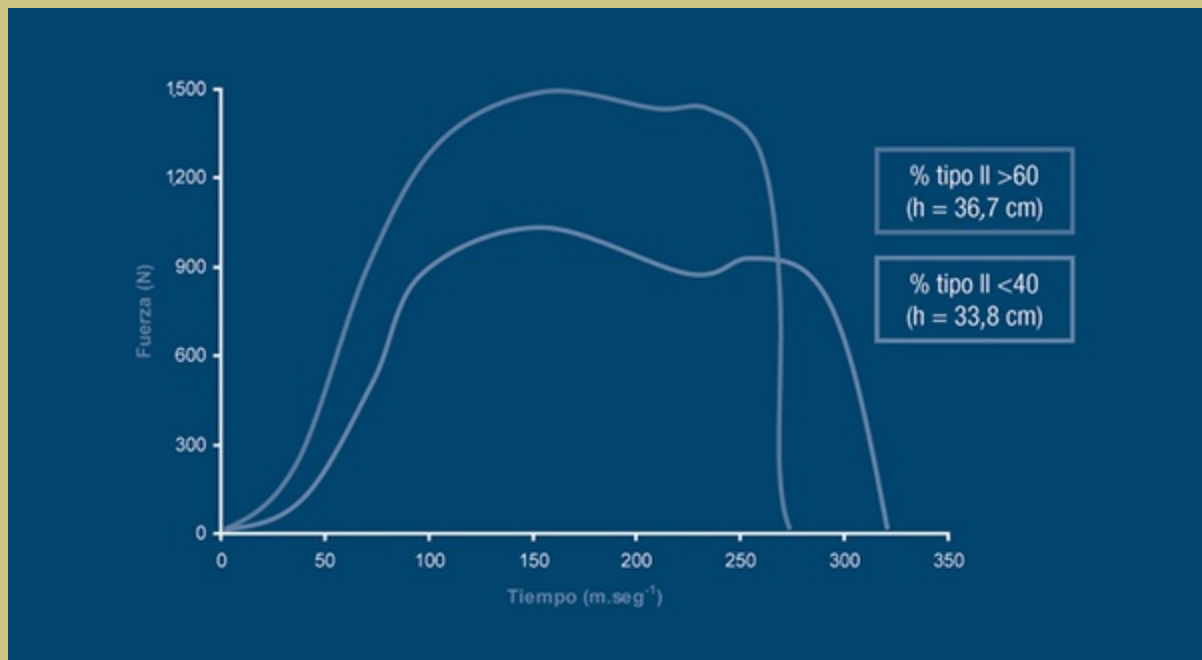


FIGURA 3.14. Relación fuerza/tiempo en la ejecución de un salto sin estiramiento previo en dos grupos de deportistas que difieren en el porcentaje de fibras tipo II. Considérese con este ejemplo la importancia de disponer en los grupos musculares involucrados en una determinada acción motriz de un elevado porcentaje de fibras tipo II para aquellas modalidades deportivas en las que se requiere manifestar elevados niveles de fuerza en poco tiempo. Los sujetos con menor porcentaje de fibras tipo II necesitan más tiempo para manifestar menos fuerza, en este caso asociado a una menor altura de salto.

Adaptado de Bosco C y Komi PV. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1979;41:275-84.

Hipertrofia muscular

La **hipertrofia muscular** es el incremento de la sección transversal del músculo. Este proceso es el resultado de la supercompensación en la remodelación del tejido muscular a partir de un incremento en la síntesis de proteínas como consecuencia de estímulos de entrenamientos orientados a la degradación de proteínas. El incremento de la sección transversal del músculo se debe a la hipertrofia de las fibras musculares inducida por un aumento del tamaño (**hipertrofia**) y del número de miofibrillas (**hiperplasia**). No existe evidencia en seres humanos de un incremento del número de fibras musculares.

Numerosos estudios han demostrado hipertrofia muscular después de un

período de entrenamiento de distinta duración e intensidad relativa de carga. Como se observa en el trabajo de recopilación de estudios realizado por Fry (2004), el **grado de hipertrofia** de las **fibras tipo II** es superior al de las **fibras tipo I** (figura 3.15). Además, los autores describieron mayor hipertrofia de las fibras tipo IIB que de las fibras tipo IIA. Sin embargo, hay que considerar que en todos estos estudios se realizó un trabajo con pesas y con unos componentes del entrenamiento muy similares; por ejemplo, la mayoría utilizaron una intensidad relativa entre el 65% y el 90% de 1RM.

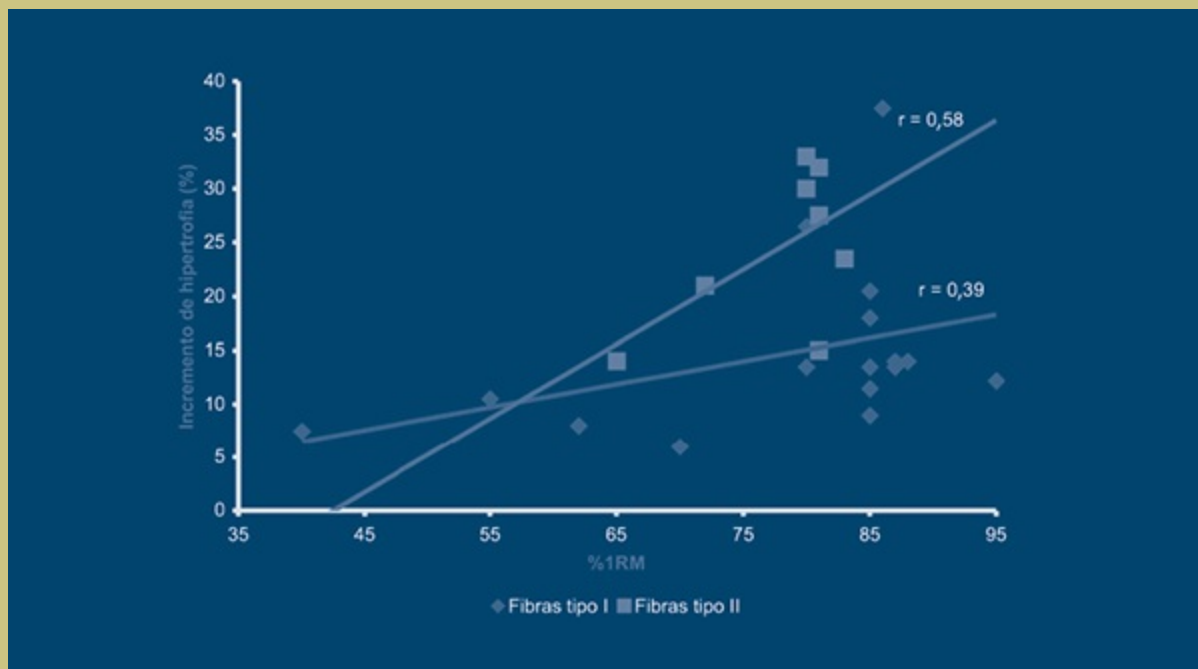


FIGURA 3.15. Relación entre la intensidad relativa de carga y el grado de hipertrofia en función del tipo de fibra. El grado de hipertrofia asociado al entrenamiento de fuerza es superior en las fibras tipo II que en las fibras tipo I. Para ambos tipos de fibra, la hipertrofia muscular, especialmente para las fibras tipo II, es superior a una intensidad relativa elevada. El valor de r^2 de las rectas de regresión determina el porcentaje de incremento de hipertrofia explicado por la intensidad de trabajo. Considérese entonces que la intensidad relativa de trabajo sólo explica el 15% y el 34% de la hipertrofia observada, respectivamente, para las fibras tipo I y tipo II. La intensidad de trabajo probablemente explica un mayor porcentaje de la variación de hipertrofia asociada al entrenamiento de fuerza. La relación observada es simplemente una referencia debido a que está limitada por muchos factores: la ausencia o pocos estudios con intensidades muy elevadas, medias y bajas, y especialmente que la relación se ha establecido con datos de diferentes estudios controlando únicamente la intensidad y, por tanto, desconociendo la influencia que han tenido, por ejemplo, las características de los sujetos, el número de series y repeticiones y las semanas de entrenamiento.

La **hipertrofia selectiva** de las fibras rápidas puede ser relevante para la optimización del rendimiento en las acciones motrices que requieren la manifestación de la **fuerza explosiva**, y por tanto, su análisis debe ser considerado en la metodología de entrenamiento de estas modalidades deportivas. Sin embargo, el **grado óptimo de hipertrofia muscular** para el rendimiento en las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva no está claramente definido y se debe matizar en función del contexto de la competición. Es cierto, como se observa en la figura 3.16, que de forma general se puede afirmar que la fuerza del músculo depende en gran medida de su sección transversal. Sin embargo, esta relación está basada en estudios con muestras muy heterogéneas y especialmente con indicadores de medición de fuerza que no son aplicables al rendimiento deportivo. Actualmente se sabe que el deportista que levanta más kilogramos en un ejercicio no es necesariamente el más fuerte en una disciplina deportiva concreta, e incluso que el deportista que tiene mayor hipertrofia muscular no es necesariamente el que levanta más kilogramos. Esto es debido tanto a la cantidad de factores de los que depende la manifestación de fuerza como a la variedad de ejercicios y acciones motrices en los que es posible manifestarla. No obstante, resulta complicado discernir si una mayor aplicación de fuerza en una acción motriz es consecuencia de la hipertrofia muscular o de otros factores asociados a la manifestación de fuerza.

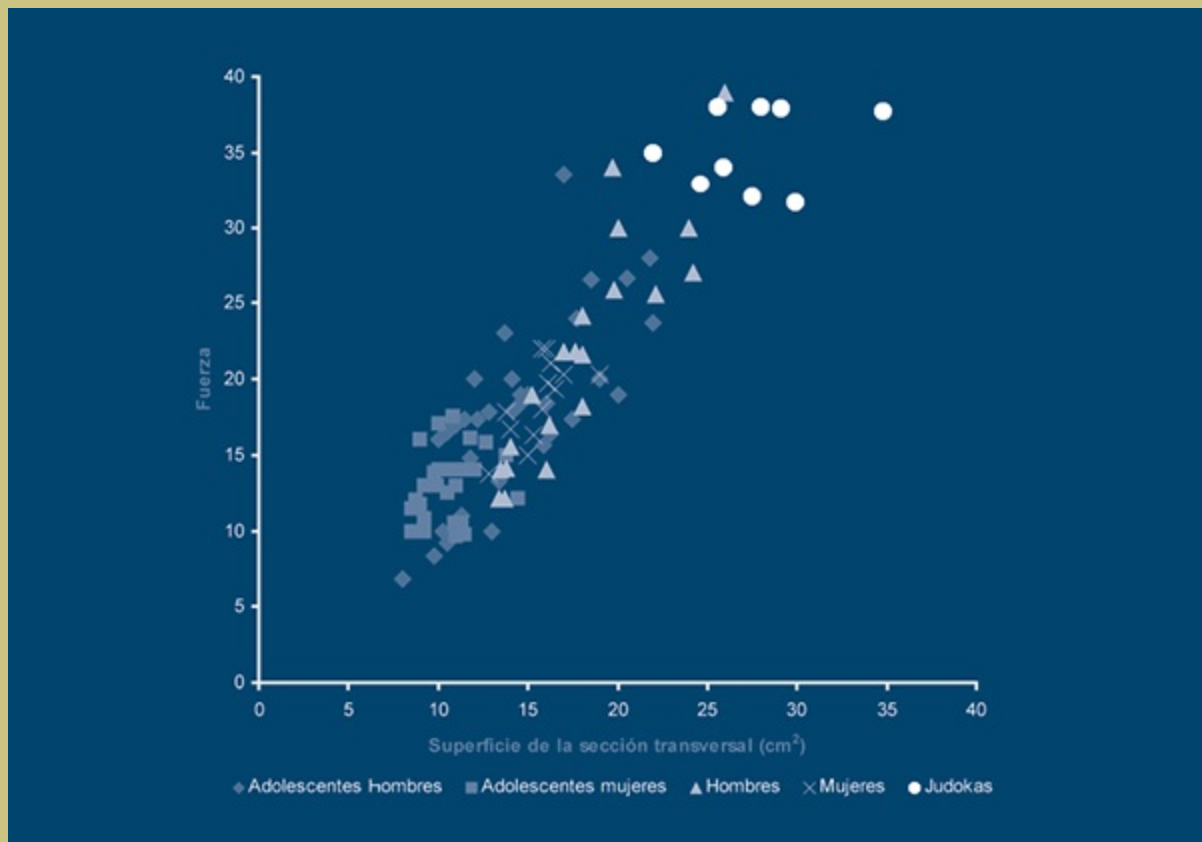


FIGURA 3.16. Relación entre el grado de hipertrofia muscular de las extremidades inferiores y la fuerza manifestada en una acción isométrica. Existe una elevada relación entre la sección transversal de las extremidades inferiores y la fuerza isométrica manifestada. Sin embargo, la relación entre dos variables depende de numerosos factores. En este caso, la relación sería muy diferente si los sujetos estudiados fuesen más homogéneos. Los autores han incluido en el análisis a sujetos de diferente sexo, edad y estado de entrenamiento. Además, la variable medida para determinar la fuerza difiere de las características de fuerza requeridas en la mayoría de las modalidades deportivas.

Adaptado de Ikai M y Fukunaga T. Int Z Angew Physiol 1968;26:26-32.

Puede ser útil un breve análisis del contexto de competición y de la hipertrofia de los deportistas con éxito en modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva para determinar la importancia relativa de la **hipertrofia muscular** para optimizar el **rendimiento**. En las modalidades deportivas en las que la resistencia que se debe superar es el propio peso corporal, un grado de hipertrofia excesivo perjudica el rendimiento, especialmente si la acción motriz requiere manifestar fuerza en dirección vertical. Por este motivo, el grado de hipertrofia de los deportistas

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

con éxito, por ejemplo en una carrera de 100 m, es muy superior al observado en los deportistas que precisan un óptimo rendimiento en saltos. El grado óptimo de hipertrofia en las modalidades deportivas caracterizadas porque en las acciones más determinantes para el rendimiento la resistencia a superar no es el propio peso corporal está influida por la magnitud de la resistencia y por el reglamento. Cuando la magnitud de la resistencia es baja, únicamente se debe desarrollar una hipertrofia selectiva de las fibras más rápidas, ya que, como veremos posteriormente, son las únicas que cabe utilizar ante estos niveles de carga. Así, el grado de hipertrofia de deportistas con éxito en deportes que requieren la manifestación de fuerza con cargas relativamente bajas, por ejemplo, en deportes de raqueta o en la mayoría de los deportes de equipo, es inferior al observado en deportistas que requieren la manifestación de fuerza con cargas relativamente altas, por ejemplo, lanzadores de peso, halterófilos, luchadores, etc. Además, hay que considerar que en las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva con cargas bajas se precisa simultáneamente la ejecución de acciones rápidas superando el peso corporal. Exceptuando a los jugadores de balonmano y a algunos jugadores de baloncesto, que requieren un elevado grado de hipertrofia muscular para las acciones de lucha contra los adversarios, en el resto de modalidades deportivas en que se manifiesta la fuerza explosiva con cargas altas el grado de hipertrofia muscular está limitado a los intervalos de peso que definen las distintas categorías de competición. Así, en estos deportes, como *powerlifting*, halterofilia y deportes de lucha, se debe desarrollar el máximo grado de hipertrofia considerando el límite máximo de peso establecido para la categoría en que compite el deportista.

Reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices

Aunque la literatura científica relacionada con los mecanismos que incrementan la fuerza con el entrenamiento se centró inicialmente en el papel de la masa muscular, actualmente se considera que las principales adaptaciones están ligadas a la plasticidad del sistema nervioso, especialmente cuando nos referimos a un incremento de fuerza asociada a una mejora del rendimiento deportivo. A este respecto, varios trabajos han descrito un incremento significativo de fuerza después de un corto período de entrenamiento sin apreciarse cambios de la sección transversal del músculo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

(Akima *et al.*, 1999; Hickson *et al.*, 1994; Staron *et al.*, 1994). De hecho, no se necesita una evidencia científica para deducir que las principales adaptaciones asociadas al incremento de la fuerza no pueden derivar de un aumento de la hipertrofia muscular. Una simple observación de la realidad deportiva nos presenta constantemente ejemplos de deportistas que siguen mejorando su rendimiento deportivo sin que se aprecie un incremento de su masa muscular. Igualmente, deportistas con una menor masa muscular son capaces de levantar cargas más elevadas que deportistas con una elevada hipertrofia, y otros deportistas consiguen manifestar mayor fuerza en gestos deportivos concretos.

La contracción muscular supone la integración de los sistemas muscular y nervioso. Un mismo nervio motor inerva distintas fibras musculares de las mismas características, lo que determina una **unidad motriz**, y en consecuencia cada músculo está integrado por un número determinado de unidades motrices. Únicamente las unidades motrices que son activadas (**reclutamiento**) contribuyen a la manifestación de fuerza en una determinada acción motriz. El nivel de fuerza manifestado también depende del número de veces que es activada una unidad motriz (**frecuencia de estimulación**) durante el tiempo que dura la aplicación de fuerza. La mayor **frecuencia de activación** se asocia a las **fibras más rápidas**, y el **reclutamiento de unidades motrices** depende de la **magnitud de la carga**. En la manifestación de fuerza explosiva con cargas bajas, debido a la duración de la aplicación de fuerza, probablemente sólo las unidades motrices que inervan las fibras tipo IIB son reclutadas a la máxima frecuencia de estimulación. La mayor duración de la aplicación de fuerza implica que también las fibras tipo IIA sean reclutadas al incrementar la magnitud de la carga. La participación de fibras más lentas también se ha sugerido para una misma intensidad relativa de carga en los ejercicios que requieren una mayor duración en la aplicación de fuerza, por ejemplo, en la comparación de una sentadilla completa y una media sentadilla (Bosco *et al.*, 2000).

Las características y la naturaleza de la adaptación neural inducida por el entrenamiento en la manifestación de fuerza explosiva no están claramente definidas. Una de las explicaciones más aceptadas es que el **entrenamiento** produce cambios del patrón de activación del músculo, incrementando para una determinada magnitud de carga el nivel de fuerza manifestado como consecuencia de un **incremento del número de unidades motrices reclutadas y de la frecuencia de estimulación** (Olmo *et al.*, 2006).

Para que una **unidad motriz** sea activada, es necesario que el impulso eléctrico transmitido por el nervio motor sea de una magnitud superior a su **umbral de excitabilidad**. Actualmente se sabe que, incluso cuando se manifiesta la máxima fuerza posible ante una resistencia insalvable, los sujetos no entrenados no son capaces de activar un elevado porcentaje de unidades motrices. Estudios electromiográficos han demostrado que el entrenamiento de fuerza puede incrementar el número de unidades motrices activadas para una determinada actividad (Häkkinen y Komi, 1983). Probablemente, el **incremento de unidades motrices reclutadas** para una determinada resistencia que se observa después de un período de entrenamiento se debe a una **reducción del umbral de excitabilidad** de las unidades motrices. De hecho, se ha descrito que la excitabilidad de las unidades motrices es mayor en los sujetos entrenados (Gabriel *et al.*, 2006). Otras adaptaciones, como una mayor **eficiencia de la sinapsis** del nervio motor y las fibras musculares y la **hipertrofia de los axones** de las motoneuronas, pueden causar una **mayor frecuencia de estimulación** de la unidad motriz. Una mayor frecuencia de estimulación parece estar asociada más a una disminución del tiempo de contracción muscular y del tiempo que tiene que pasar para que una unidad motriz pueda ser activada nuevamente que a un incremento de la velocidad de transmisión del impulso eléctrico (Gabriel *et al.*, 2006). Actualmente existe evidencia directa de la influencia de la frecuencia de estimulación de las unidades motrices sobre el nivel de manifestación de fuerza (Knight y Kamen, 2008). Sin embargo, la complejidad de la medición de estos cambios no ha permitido una demostración evidente de estas adaptaciones con el entrenamiento (Ross *et al.*, 2001).

Metabolismo

Independientemente de la magnitud de carga, la **manifestación de fuerza explosiva** sólo es posible mediante la utilización a la máxima potencia de la vía metabólica que permite obtener una mayor ratio de obtención de ATP por unidad de tiempo, el **metabolismo aláctico**. Además, actualmente está demostrado que la manifestación de fuerza explosiva requiere también la máxima potencia del **metabolismo anaeróbico láctico**. Así, incluso después de una aplicación de fuerza de milisegundos se observa un incremento significativo de la concentración de lactato, producto derivado de esta vía

metabólica (figura 3.17).

En los esfuerzos que requieren la manifestación de fuerza explosiva de forma continua (p. ej., una carrera de 100 m), la cantidad de energía disponible mediante el metabolismo anaeróbico aláctico determina el tiempo durante el que puede ser manifestada y, por tanto, el momento en que inevitablemente se observa un descenso de la velocidad de desplazamiento. Lógicamente, cuanto mayor es la magnitud de carga debido al mayor requerimiento de energía, menor tiempo puede manifestarse la fuerza explosiva.

Ciclo de estiramiento-acortamiento

El **ciclo de estiramiento-acortamiento** (CEA) es el patrón común del movimiento, caracterizado por una acción excéntrica que precede a la acción concéntrica del músculo (Harrison *et al.*, 2004). Se ha demostrado repetidamente que el estiramiento previo del músculo incrementa el **rendimiento mecánico** (Cavagna *et al.*, 1968). Por ejemplo, el aumento de fuerza durante la ejecución del ejercicio de prensa de pecho a distintas intensidades de carga se ha establecido entre un 11% y un 18% (figura 3.18), y el incremento de la altura de salto entre un 6% y un 12% (figura 3.19).

El incremento del rendimiento mecánico durante la ejecución excéntrico-concéntrica se ha atribuido a la acumulación de energía elástica y a la activación del reflejo miotático en la fase de estiramiento del músculo (figura 3.20).

En la **fase excéntrica** del movimiento, el estiramiento induce una **acumulación de energía elástica** en el sistema musculotendinoso, que puede ser parcialmente reutilizada en la fase concéntrica incrementando el potencial de manifestación de fuerza (Komi y Bosco, 1978). El **grado de reutilización de energía elástica** es menor cuanto mayor sea el **tiempo de transición entre la fase excéntrica y la concéntrica** debido a que la energía acumulada se disipa en calor (Henchoz *et al.*, 2006) (figura 3.21). En la fase excéntrica también se produce la **activación del reflejo miotático**, generando un impulso de contracción muscular como **mecanismo de alarma** para que el estiramiento no produzca una rotura fibrilar. El mecanismo es idéntico a la limitación del estiramiento de un grupo muscular cuando realizamos ejercicios para desarrollar la movilidad articular. La activación del reflejo miotático se ha asociado a movimientos con una **rápida transición entre la**

fase excéntrica y la concéntrica del movimiento debido a que durante un estiramiento más controlado el sistema nervioso no tiene la sensación de una posible rotura de fibras musculares.

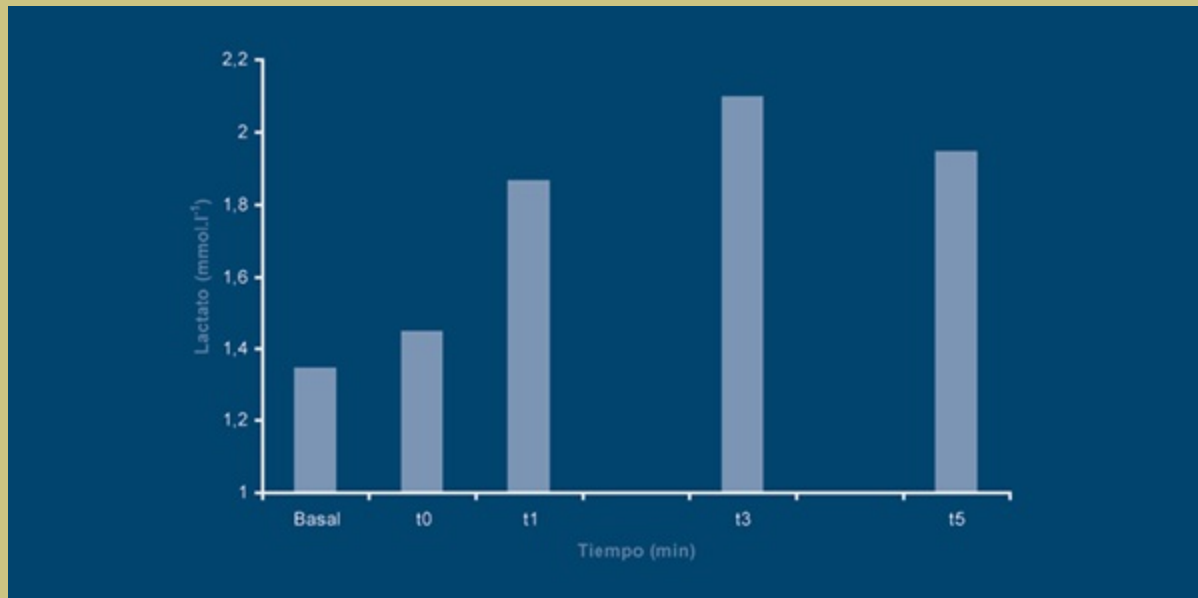


FIGURA 3.17. Ejemplo de participación del metabolismo anaeróbico láctico en la manifestación de fuerza explosiva de un salto. Para manifestar la máxima fuerza posible es necesario que intervengan las vías metabólicas que permiten obtener mayor cantidad de energía por unidad de tiempo. El metabolismo aláctico es la vía metabólica más rápida y, por tanto, es determinante de la manifestación de fuerza explosiva. Sin embargo, actualmente se sabe que el metabolismo láctico también es importante en la manifestación de fuerza explosiva. Cabe comprobar en este ejemplo que se incrementa la concentración de lactato, producto derivado de esta vía metabólica, incluso cuando se ejecuta una acción tan breve como un salto.

Adaptado de Chamari K et al. Eur J Appl Physiol 2001;85:191-4.

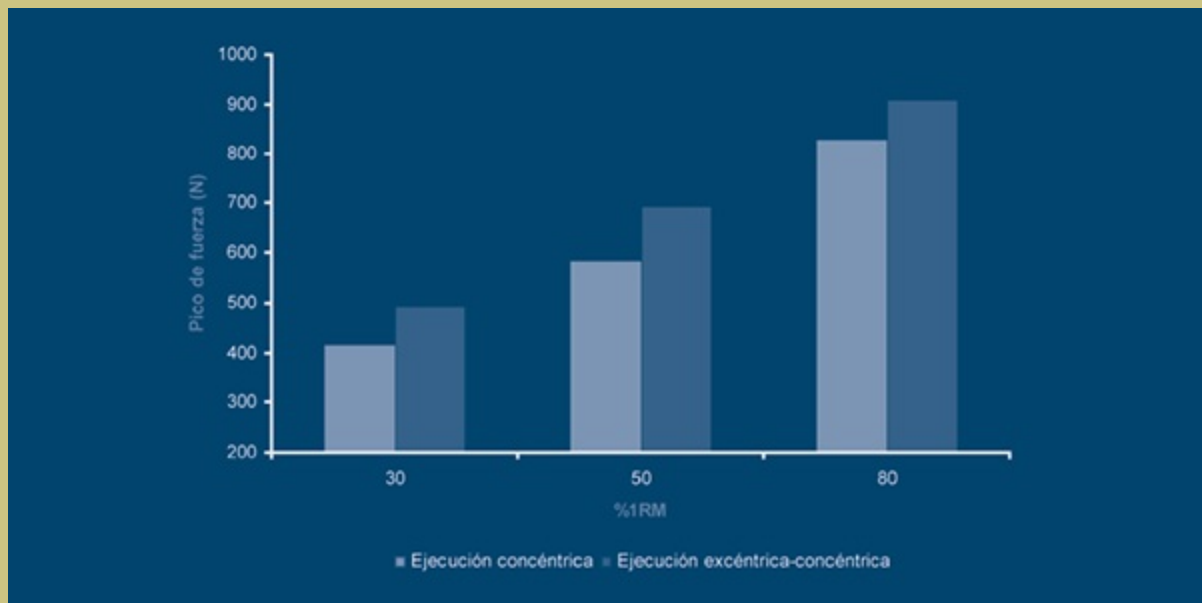


FIGURA 3.18. Diferencias de fuerza entre la ejecución concéntrica y excéntrico-concéntrica de prensa de pecho a distintas intensidades. En este ejemplo, la ejecución del CEA permite incrementar la fuerza manifestada con distintos niveles de carga relativa.

Elaborado con datos de Cronin J et al. J Strength Cond Res 2003;17:148-55.

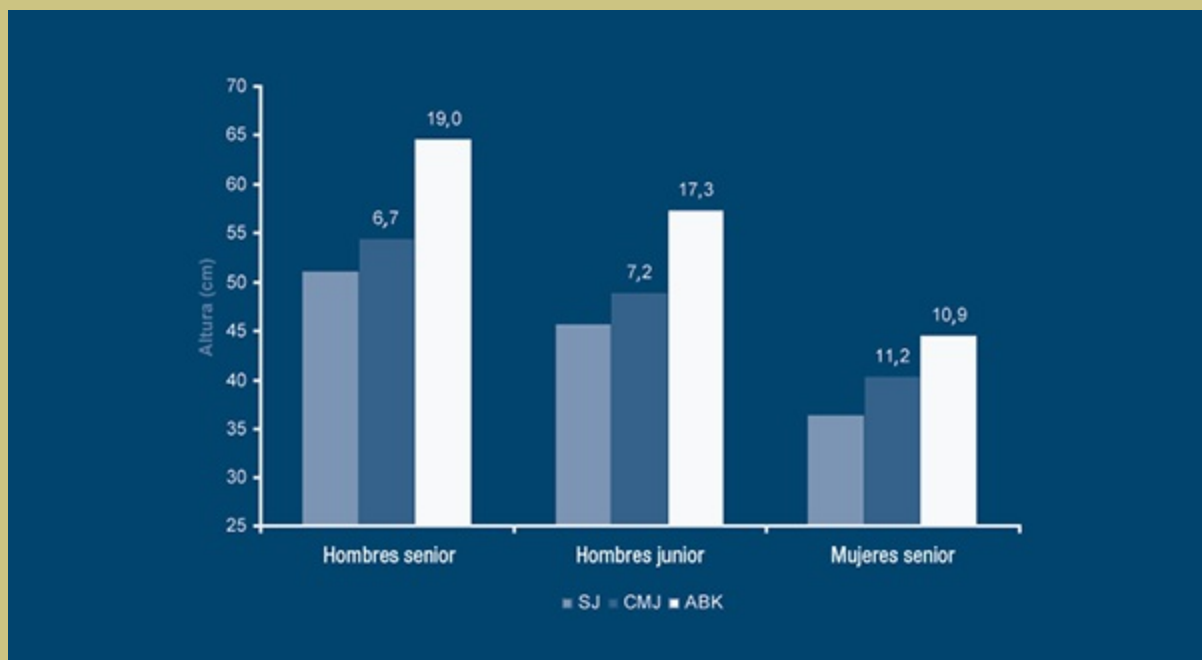


FIGURA 3.19. Diferencias en la altura de salto entre la ejecución concéntrica, excéntrico-concéntrica y con participación de brazos en distintos grupos de saltadores de altura. SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; ABK: *Abalakov* (véanse las diferencias de estos saltos en la figura 3.80). Obsérvese nuevamente, en este caso en una acción motriz más específica, que la altura de salto cuando se realiza el CEA (CMJ) es superior a la altura cuando sólo se realiza la fase concéntrica (SJ). Cabe comprobar también que la altura es mayor en el ABK como consecuencia de la participación de los brazos, incluyendo su CEA. El aprovechamiento del CEA no es el mismo para todos los deportistas. En este ejemplo, las mujeres senior tienen un mayor aprovechamiento del CEA de las extremidades inferiores y un menor aprovechamiento de la participación y el CEA de las extremidades superiores. La influencia que el CEA tiene para el rendimiento de una determinada acción motriz depende de numerosos factores, como la intensidad de la carga, las propiedades musculares, la ejecución técnica y el entrenamiento realizado.

Original del autor con datos cortesía de Miguel Vélez Blasco. Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés.

Como la duración del CEA se incrementa al aumentar la magnitud de la carga, la **aportación de la energía elástica y del reflejo miotático** a la manifestación de fuerza se considera de mayor importancia en **esfuerzos dinámicos muy rápidos** (Kubo *et al.*, 2000; Kryöläinen y Komi, 1995). No obstante, como se muestra en la figura 3.18, aunque en menor medida que al 30% 1RM, la ejecución del CEA también incrementa la manifestación de fuerza a una intensidad del 80% 1RM (18 I 11%) (Cronin *et al.*, 2003, 2001). Los autores demostraron además que los efectos de la fase excéntrica sólo influyen en el rendimiento mecánico en el período inicial de la fase concéntrica.



FIGURA 3.20. Factores que determinan un mayor rendimiento mecánico en el ciclo de estiramiento-acortamiento. Se puede ver en el ejemplo que la acumulación de energía elástica y la activación del reflejo miotático que siguen a la fase de estiramiento del músculo son los factores asociados a un mayor rendimiento mecánico en la fase de acortamiento que establece el nivel de manifestación de fuerza.

Original del autor con permiso del deportista.

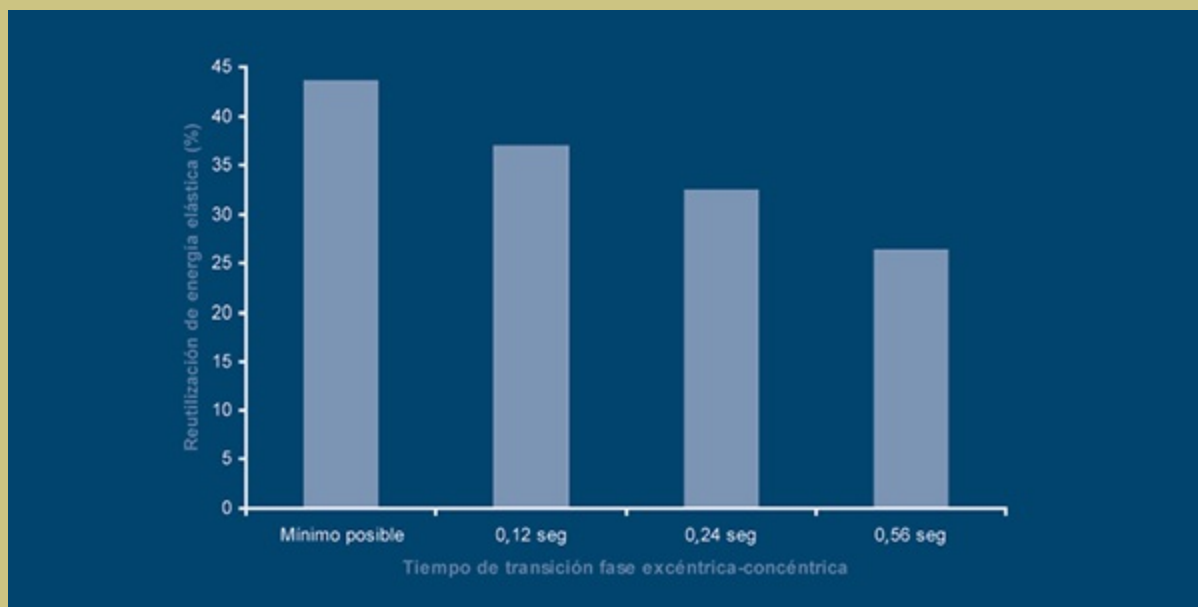


FIGURA 3.21. Relación entre el tiempo de transición de la fase excéntrico-concéntrica y la reutilización de energía elástica en la ejecución continua de

flexoextensión de las extremidades inferiores. Un elevado porcentaje de la energía elástica acumulada en la fase de estiramiento del músculo no puede ser utilizado para incrementar la manifestación de fuerza en la fase concéntrica. El porcentaje de reutilización de la energía elástica disminuye al aumentar la duración del CEA como consecuencia de que una mayor parte de energía se disipa en calor. Las acciones ejecutadas a la máxima velocidad y con una magnitud de carga baja son las que permiten mayor reutilización de la energía elástica al ser menor la duración del CEA.

Adaptado de Henchoz Y et al. Eur J Appl Physiol 2006;96:665-71.

Transferencia de fuerza a la acción motriz específica

La mayoría de los movimientos deportivos requieren la sincronización y secuenciación de acciones de distintos grupos musculares. Así, la cantidad de fuerza que puede ser generada en un particular contexto del movimiento es determinada también por la efectividad de la coordinación muscular. El objetivo final del entrenamiento de fuerza no es sólo que el deportista sea capaz de manifestar niveles superiores de fuerza en el tiempo y la velocidad asociados al contexto de competición, sino que además debe manifestarla en la acción motriz específica. Aunque numerosos trabajos de investigación determinan el efecto de un período de entrenamiento de fuerza mediante la valoración de la máxima fuerza y potencia que es capaz de manifestar un deportista en un ejercicio de pesas, de poco sirve la mejora de estos parámetros si finalmente no es capaz de transferir el incremento de fuerza a la acción motriz específica. La **transferencia de fuerza a la acción motriz específica** es especialmente relevante si consideramos que difícilmente un deportista con éxito en una determinada modalidad deportiva que requiere la manifestación de fuerza explosiva será capaz de manifestar un nivel óptimo de fuerza en cualquier otra modalidad deportiva. Por ejemplo, es muy probable que el mejor corredor de 100 m tenga una mayor capacidad contráctil y aprovechamiento del CEA que un futbolista, pero éste va a ser capaz de manifestar niveles superiores de fuerza en el golpeo de un balón.

Mientras que está claro que las adaptaciones intramusculares producidas en un programa de fuerza conducen a un aumento de la aptitud de generar fuerza de cada músculo individualmente, es probable que las adaptaciones neurales también contribuyan al incremento de fuerza realzando la **efectividad de la coordinación muscular** (Häkkinen *et al.*, 2000). Esto es, algunas de las adaptaciones asociadas con el entrenamiento de fuerza pueden ser supuestas como un **aprendizaje motor**, en tanto que los sujetos aprenden a producir los

patrones específicos de reclutamiento del músculo que se asocia con un desempeño óptimo. Así, autores como Carroll *et al.*, (2001) han demostrado que el entrenamiento de fuerza tiene el potencial de alterar la manera en que los músculos son reclutados a partir del control del SNC.

Está bien establecido, por tanto, que el entrenamiento de fuerza causa mayor aumento de la capacidad para generar fuerza en tareas que se parecen estrechamente a los ejercicios realizados durante el entrenamiento que en tareas nuevas (Sale *et al.*, 1988). Estas asunciones están en consonancia con el principio de especificidad expuesto en el capítulo 2.

Dettmers *et al.*, (1996) han establecido que si cada unidad motriz de un músculo es capaz de producir más fuerza después del entrenamiento, se deduce que necesitan ser reclutadas menos motoneuronas y que se requiere un menor nivel de activación cortical para producir el mismo rendimiento cinético o cinemático. De esta forma se incrementa el potencial de activación para los elementos neurales que interfieren en el desempeño óptimo de la tarea. En el contexto del control del movimiento, los elementos neurales que interfieren con el desempeño pueden ser cualquier circuito que conduce al reclutamiento de unidades motrices que no contribuyen eficazmente a un movimiento pretendido. Así, el entrenamiento de fuerza puede realzar el desempeño de las tareas relacionadas reduciendo la extensión de la activación cortical y, por consiguiente, la activación de elementos neurales que interfieren con la ejecución óptima del movimiento.

Otra prueba de que el entrenamiento de fuerza afecta la coordinación muscular la han proporcionado investigaciones enfocadas a la activación de los músculos antagonistas durante contracciones máximas (Häkkinen *et al.*, 2000; Häkkinen *et al.*, 1998; Carolan y Carafelli, 1992). El grado en que los músculos antagonistas son activados durante el movimiento es de importancia considerable, ya que estos autores demostraron que la fuerza puede ser aumentada por una reducción de la activación de los músculos que se oponen al movimiento. En estos experimentos, el entrenamiento de fuerza determinó un nivel inferior de la actividad electromiográfica del músculo flexor de la rodilla durante la aplicación de la máxima fuerza isométrica en la tarea de extensión de la rodilla. Parece que los participantes aprendieron a reducir el nivel de activación del músculo antagonista en el período de entrenamiento.

Es probable que un aprendizaje de similar naturaleza ocurra cuando los deportistas realizan ejercicios más complicados en el entrenamiento de

fuerza, lo que requiere el tiempo preciso de reclutamiento muscular y coordinación de músculos monoarticulares y biarticulares.

Según este análisis, podemos establecer la **importancia relativa de los distintos factores asociados a la manifestación de fuerza explosiva** con cargas bajas (tabla 3.3), medias (tabla 3.4) y altas (tabla 3.5). Al incrementar la magnitud de la carga, adquiere mayor importancia la hipertrofia muscular y el reclutamiento simultáneo a la máxima frecuencia de estimulación de las fibras tipo IIA y IIB.

TABLA 3.3. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza explosiva con cargas bajas

		<i>Importancia relativa</i>
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo IIB	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo IIB*	Media
	Máximo reclutamiento de fibras tipo IIB	Máxima
	Máxima frecuencia de estimulación de fibras tipo IIB	Máxima
	Potencia anaeróbica aláctica y láctica	Máxima
	Capacidad anaeróbica aláctica**	Máxima
<i>Ciclo de estiramiento-acortamiento</i>	Reutilización de energía elástica	Máxima
	Potenciación del reflejo miotático	Máxima
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Únicamente en modalidades que requieren la manifestación continuada de fuerza explosiva.

Original del autor.

TABLA 3.4. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza explosiva con cargas medias

		<i>Importancia relativa</i>
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo IIB	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo IIB*	Media
	Máximo reclutamiento de fibras tipo IIB	Máxima
	Máxima frecuencia de estimulación de fibras tipo IIB	Máxima
	Potencia anaeróbica aláctica y láctica	Máxima
	Capacidad anaeróbica aláctica**	Máxima
<i>Ciclo de estiramiento-acortamiento</i>	Reutilización de energía elástica	Media
	Potenciación del reflejo miotático	Media
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Únicamente en modalidades que requieren la manifestación continuada de fuerza explosiva.

Original del autor.

TABLA 3.5. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza explosiva con cargas altas

		<i>Importancia relativa</i>
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo IIB y IIA	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo IIB y IIA*	Máxima
	Máximo reclutamiento de fibras tipo IIB y IIA	Máxima
	Máxima frecuencia de estimulación de fibras tipo IIB y IIA	Máxima
	Potencia anaeróbica aláctica y láctica	Máxima
	Capacidad anaeróbica aláctica**	Máxima
<i>Ciclo de estiramiento-acortamiento</i>	Reutilización de energía elástica	Baja
	Potenciación del reflejo miotático	Baja
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Únicamente en modalidades que requieren la manifestación continuada de fuerza explosiva.

Original del autor.

2.2. Factores asociados a la manifestación de fuerza resistencia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Capacidad contráctil

Todos los factores asociados a la capacidad contráctil, el tipo de fibra muscular, la hipertrofia muscular, el reclutamiento y la frecuencia de estimulación selectiva de unidades motrices y el metabolismo son determinantes del rendimiento de las acciones motrices que requieren la manifestación de fuerza resistencia. Sin embargo, las características de estos factores para la optimización de la fuerza resistencia son muy diferentes a las establecidas para la manifestación de la fuerza explosiva. Además, para la manifestación de fuerza resistencia estos factores varían significativamente en función de la magnitud de la carga y la duración de la competición.

Distribución porcentual del tipo de fibra muscular

De forma general, se puede establecer que para la manifestación de fuerza resistencia se precisa un elevado porcentaje de fibras tipo I, ya que éstas son las más resistentes a la fatiga. Sin embargo, el tipo de fibra muscular requerido para la manifestación de fuerza resistencia depende de una serie de factores interrelacionados como la magnitud de la carga, la velocidad de ejecución y la duración de la competición. En modalidades deportivas en las que se manifiesta un **nivel de fuerza resistencia próximo a la fuerza explosiva**, por ejemplo, en los últimos metros en carreras de 100 m y 400 m, el deportista debe disponer de un alto porcentaje de fibras **tipo IIB** y **tipo IIA**. En acciones motrices que requieren la manifestación de **fuerza resistencia con cargas elevadas** probablemente también sea determinante del rendimiento un alto porcentaje de las fibras **tipo IIA**, ya que simultáneamente éstas permiten una elevada manifestación de fuerza y son relativamente resistentes a la fatiga. Lógicamente, cuando la magnitud de carga es menor y/o descende el nivel de fuerza manifestado en cada ciclo de movimiento, como en las **competiciones de media y larga duración**, adquiere mayor relevancia disponer de un elevado porcentaje de fibras **tipo I**.

Hipertrofia muscular

Se puede establecer en general que el desarrollo específico de la **hipertrofia muscular** para la optimización del rendimiento de fuerza resistencia únicamente es relevante en las modalidades deportivas en las que se

manifiesta una **velocidad de desplazamiento próxima a la máxima** (p. ej., carreras de 100 y 400 m), cuando se requiere superar **resistencias elevadas** (p. ej., gimnasia deportiva) y cuando las **competiciones cíclicas** no tienen una excesiva duración y/o no es excesivamente determinante para el rendimiento un incremento del peso corporal (p. ej., natación, remo, patinaje).

Reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices

El reclutamiento y frecuencia de estimulación selectiva de unidades motrices difiere en función de las características de la manifestación de fuerza resistencia en la competición.

Cuando la aplicación de fuerza no se realiza de forma explosiva, sino que debe ser mantenida durante un cierto tiempo, existe un consenso en que las unidades motrices se reclutan siguiendo el **“principio de la talla”** (Ley de Hennemann *et al.*, 1965a,b) (figura 3.22), que sugiere una activación de las unidades motrices que inervan las fibras tipo I cuando se requiere manifestar fuerza una intensidad relativa baja, y un incremento progresivo de unidades motrices que inervan las fibras tipo IIA y tipo IIB conforme aumenta la intensidad relativa. Además, al igual que en la manifestación de fuerza explosiva, en los sujetos no entrenados un elevado porcentaje de fibras musculares no son reclutadas (figura 3.22).

Este análisis, basado en la intensidad de la carga, no considera otros factores asociados a la manifestación de fuerza resistencia como la duración del esfuerzo.

Si la fuerza resistencia debe manifestarse ante una **carga baja** con una manifestación de fuerza muy inferior a la máxima posible (p. ej., carreras de media y larga distancia), probablemente las fibras **tipo I**, caracterizadas por ser resistentes a la fatiga y con una mayor funcionalidad del metabolismo aeróbico, son capaces de satisfacer las necesidades de fuerza requeridas. Además, tampoco será necesario que estas fibras se recluten a su máxima frecuencia de estimulación. Es posible asimismo que muchas unidades motrices que inervan fibras tipo I no sean requeridas para satisfacer las demandas de fuerza, por lo que cabe sugerir una alternancia en el reclutamiento de las fibras tipo I para retrasar la fatiga. Posiblemente, conforme se incrementa la duración del esfuerzo se requiere una mayor cantidad de unidades motrices tipo I reclutadas y además a una mayor

frecuencia de estimulación, pudiéndose producir también una alternancia en el reclutamiento. En situaciones avanzadas de fatiga es probable también que sean reclutadas las fibras tipo IIA.

Si la fuerza resistencia debe aplicarse ante una **carga media** que precise niveles de fuerza relativamente superiores (p. ej., competiciones de corta y media distancia de remo y patinaje), tal vez sea necesario el reclutamiento de todas las fibras **tipo I** a su máxima frecuencia de estimulación para satisfacer los niveles de fuerza. En función del nivel de fuerza requerido, puede ser inervada una proporción de las fibras **tipo IIA** desde el comienzo del esfuerzo, y conforme aumente la duración estas fibras pueden ser requeridas en un mayor porcentaje y a mayor frecuencia de estimulación.

Si es necesario manifestar fuerza resistencia con **cargas elevadas** (p. ej., determinadas acciones de los deportes de lucha o de gimnasia deportiva, o durante la ejecución de un entrenamiento de pesas a una intensidad relativa superior al 70% 1RM), probablemente en la primera parte del esfuerzo serán reclutadas fundamentalmente fibras **tipo IIA** y **tipo IIB** a una elevada frecuencia de estimulación, y conforme estas fibras se fatiguen, el esfuerzo se realizará con el reclutamiento preferencial de fibras más lentas, **tipo I**, que determinarán una menor velocidad de desplazamiento o, en su caso, no podrán continuar la ejecución de la acción estática o dinámica.

Independientemente de la magnitud de la carga, si se requiere la manifestación de fuerza resistencia aplicando **niveles de fuerza próximos a la fuerza explosiva** (p. ej., carreras de 100 y 400 m), probablemente en la primera parte del esfuerzo también será necesario fundamentalmente el reclutamiento de fibras **tipo IIA** y **tipo IIB** a una elevada frecuencia de estimulación; conforme éstas se fatiguen se reclutarán fibras más lentas, **tipo I**, con la consiguiente disminución de la velocidad de desplazamiento de la carga.

Al igual que en la manifestación de fuerza explosiva, la optimización de la fuerza resistencia cuando hay que manifestar el mayor nivel de fuerza posible probablemente está determinada por la capacidad de un mayor reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices. Sin embargo, cuando el nivel de fuerza manifestado es claramente inferior al máximo posible, independientemente de la magnitud de la carga, la **optimización de la fuerza resistencia** probablemente estará determinada por una **mejor economía en el reclutamiento y la frecuencia de estimulación nerviosa**. Uno de los factores que permite una mejor economía en el reclutamiento y frecuencia de

estimulación nerviosa es la capacidad del deportista para reclutar un mayor porcentaje de las fibras musculares de que dispone (figura 3.22). En el ejemplo mostrado en la figura 3.22 un sujeto entrenado es capaz de solicitar al 60% 1RM un mayor porcentaje de fibras que un sujeto no entrenado al 100% 1RM. En consecuencia, para manifestar un mismo nivel de fuerza, un sujeto entrenado necesita un menor porcentaje de su fuerza máxima, ejecutando el esfuerzo con un mayor reclutamiento de fibras lentas, más resistentes, y con un menor reclutamiento de fibras más rápidas, menos resistentes. Esto implica, en función del análisis establecido para los distintos niveles de carga, el desarrollo del mismo nivel de fuerza solicitando un menor porcentaje de fibras tipo I y/o a menor frecuencia de estimulación para la manifestación de fuerza resistencia con cargas bajas; solicitar un mayor porcentaje de fibras tipo I y un menor porcentaje y/o frecuencia de estimulación de fibras tipo IIA para la manifestación de fuerza resistencia con cargas medias, y solicitar un mayor porcentaje de fibras tipo I y IIA asociado a un menor porcentaje y/o frecuencia de estimulación de fibras tipo IIB para la manifestación de fuerza resistencia con cargas altas.

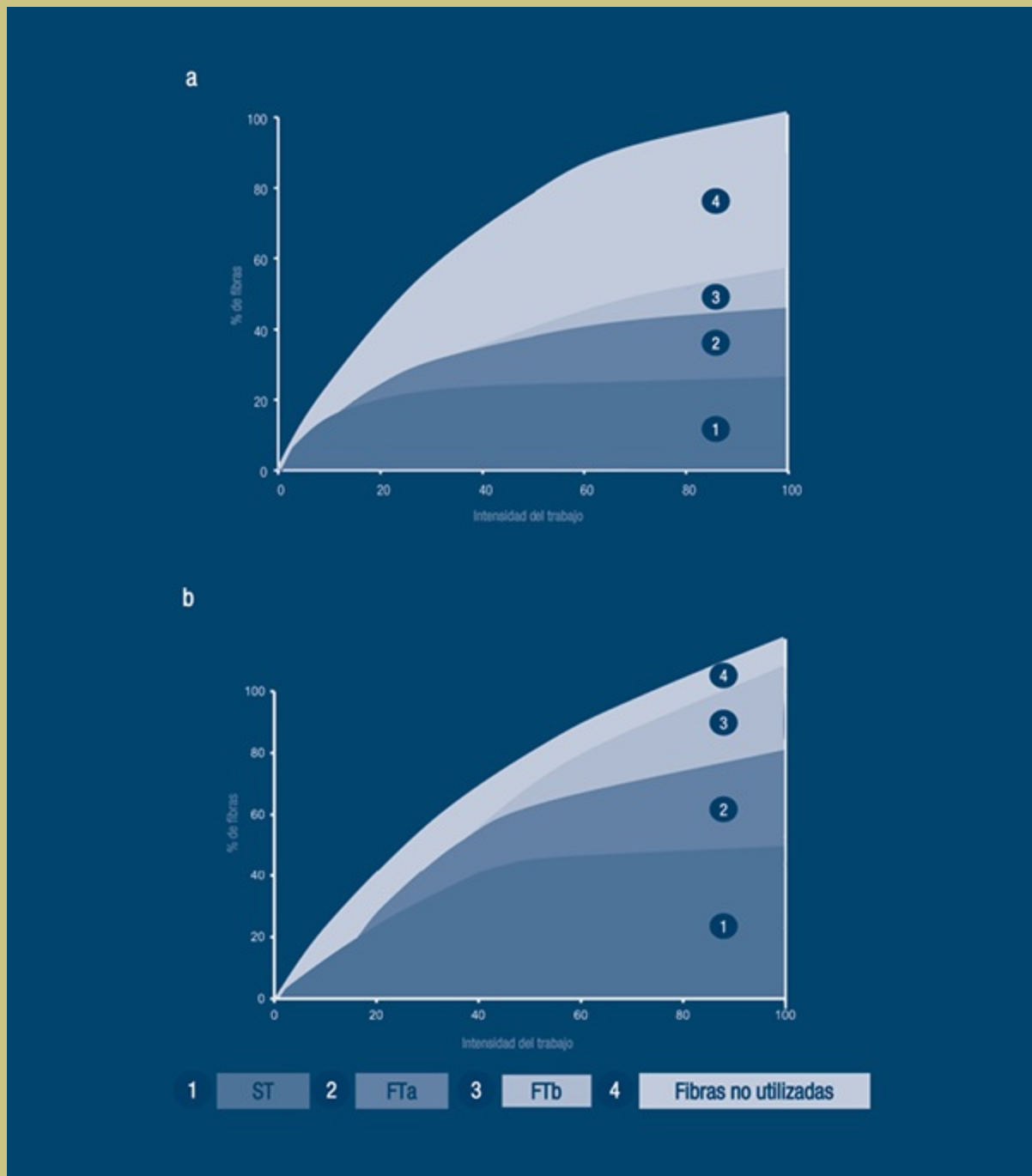


FIGURA 3.22. Reclutamiento de fibras en la manifestación de fuerza resistencia a distinta intensidad relativa en sujetos no entrenados (a) y entrenados (b). Obsérvese primero la concepción tradicional del reclutamiento de fibras musculares en la manifestación de fuerza resistencia en función de la intensidad de carga. Si la intensidad es baja, predomina el reclutamiento de fibras lentas, y conforme aumenta la intensidad se requiere también la participación de las fibras más rápidas. Véase el texto para comprender que este modelo no es aplicable a las diferentes variantes de manifestar

fuerza resistencia. Los sujetos no entrenados no son capaces de reclutar un elevado porcentaje de fibras aunque la intensidad sea muy elevada. El entrenamiento de fuerza resistencia permite un reclutamiento de fibras más eficiente, reclutando para una misma intensidad relativa un mayor porcentaje de fibras. Esto permite generar más fuerza para una determinada duración de esfuerzo y, por tanto, mayor rendimiento, o realizar la misma fuerza que antes del entrenamiento a una intensidad relativa menor y, por tanto, con menor fatiga.

Adaptado de Platonov VN y Bulatova MM. La preparación física. Paidotribo, 1992.

Este análisis determina que, al manifestar el mismo nivel de fuerza con fibras más resistentes y a un menor porcentaje de su fuerza máxima, el deportista pueda mantener la aplicación de fuerza durante más tiempo, o en su caso incrementar el nivel de fuerza aplicado en una determinada duración de esfuerzo manifestando un mayor porcentaje de su fuerza máxima mediante el reclutamiento de fibras más rápidas.

Metabolismo

En la manifestación de fuerza resistencia no se requiere la utilización a la potencia máxima de las vías metabólicas más rápidas. Las vías metabólicas predominantes en la manifestación de fuerza resistencia están asociadas a la magnitud de la carga y a la duración del esfuerzo. En la manifestación de fuerza resistencia con **cargas elevadas** son necesarias las **vías del metabolismo anaeróbico**, que permiten obtener una elevada cantidad de energía; mientras que en la manifestación de fuerza resistencia con **cargas bajas** son necesarias las **vías del metabolismo aeróbico**, pues, aunque su velocidad de obtención de energía es más lenta, su capacidad permite realizar esfuerzos de mayor duración. Probablemente en la manifestación de fuerza resistencia con **cargas medias** es necesaria la participación del **metabolismo aeróbico y anaeróbico**. Las vías metabólicas están asociadas a los tipos de fibra muscular predominantes en la manifestación de fuerza resistencia: el metabolismo anaeróbico aláctico y láctico asociado a las fibras tipo II y el metabolismo aeróbico asociado a las fibras tipo I.

Desde esta perspectiva, el **desarrollo de las distintas vías metabólicas** es otro de los factores que determinan una **mejor economía en el reclutamiento y frecuencia de estimulación** de las unidades motrices para las distintas manifestaciones de fuerza resistencia. En el capítulo 4 se realiza un análisis detallado de las posibilidades de desarrollo de las vías metabólicas

para distintas duraciones del esfuerzo.

Ciclo de estiramiento-acortamiento

Como se ha indicado en el análisis de los factores determinantes de la manifestación de fuerza explosiva, la reutilización de la energía elástica y la potenciación del reflejo miotático asociados a la fase excéntrica del movimiento son más evidentes cuanto menor es el tiempo de duración del CEA. Éste es inherente a la naturaleza de movimiento de la mayoría de las acciones que requieren la manifestación de fuerza resistencia y, en consecuencia, determinante de su rendimiento. Sin embargo, consideramos que es innecesario un análisis específico de estos factores y el planteamiento de una metodología específica de entrenamiento debido a que precisamente la **manifestación de fuerza resistencia** implica la **ejecución lenta del CEA**. En este sentido, únicamente puede considerarse como factor de rendimiento el CEA en la manifestación de fuerza resistencia que requiere desarrollar la máxima fuerza posible (p. ej., carreras de 100 y 400 m).

Transferencia de fuerza a la acción motriz específica

La **transferencia de fuerza** a las acciones específicas que requieren la **manifestación de fuerza resistencia** tiene la misma implicación para el rendimiento que la establecida para la manifestación de fuerza explosiva. La mayoría de las modalidades que precisan la manifestación de fuerza resistencia están asociadas a la repetición cíclica de una determinada acción motriz.

En este caso, un deportista con un déficit de coordinación intermuscular necesita manifestar mayor nivel de fuerza para una misma velocidad de desplazamiento, requiriendo un mayor **gasto energético**. Esto además está asociado lógicamente con una peor economía en el reclutamiento y la frecuencia de estimulación de las unidades motrices.

Sobre la base de este análisis, de forma análoga a lo establecido para la fuerza explosiva, podemos establecer la **importancia relativa de los distintos factores asociados a la manifestación de fuerza resistencia** cuando se requiere la aplicación de la máxima fuerza posible en cada ciclo de movimiento (tabla 3.6) y cuando se manifiesta con cargas bajas (tabla 3.7), medias (tabla 3.8) y altas (tabla 3.9).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

TABLA 3.6. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza resistencia que requieren la máxima fuerza posible en cada ciclo de movimiento

		<i>Importancia relativa</i>
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo IIA y IIB	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo IIA y IIB*	Media
	Máximo reclutamiento de fibras tipo IIA y IIB	Máxima
	Máxima frecuencia de estimulación de fibras tipo IIA y IIB	Máxima
	Variables asociadas al metabolismo anaeróbico**	Máxima
<i>Ciclo de estiramiento-acortamiento</i>	Reutilización de energía elástica	Máxima
	Potenciación del reflejo miotático	Máxima
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Únicamente en modalidades que requieren la manifestación continuada de fuerza explosiva.

Original del autor.

TABLA 3.7. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza resistencia dinámica con cargas bajas

		<i>Importancia relativa</i>
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo I	Máxima
	Mínimo reclutamiento y frecuencia de estimulación de fibras tipo I para una misma aplicación de fuerza	Máxima
	Variables asociadas al metabolismo aeróbico*	Máxima
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

*Véase el análisis específico del metabolismo en el capítulo 4.

Original del autor.

TABLA 3.8. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza resistencia dinámica con cargas medias

		Importancia relativa
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo I y tipo IIA	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo I y tipo IIA*	Media
	Máximo reclutamiento de fibras tipo I y mínimo reclutamiento y frecuencia de estimulación de fibras tipo IIA para una misma aplicación de fuerza	Máxima
	Variables asociadas al metabolismo aeróbico y anaeróbico**	Máxima
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Véase el análisis específico del metabolismo en el capítulo 4.

Original del autor.

TABLA 3.9. Factores de rendimiento específicos asociados a la manifestación de fuerza resistencia dinámica con cargas altas

		Importancia relativa
<i>Capacidad contráctil</i>	Elevado porcentaje de fibras tipo IIA y IIB	Máxima
	Hipertrofia de fibras tipo IIA y IIB*	Máxima
	Máximo reclutamiento de fibras tipo I y tipo IIA y mínimo reclutamiento y frecuencia de estimulación de fibras tipo IIB para una misma aplicación de fuerza	Máxima
	Variables asociadas al metabolismo anaeróbico**	Máxima
<i>Transferencia de la fuerza</i>	Coordinación intermuscular	Máxima

* Sin desarrollo excesivo en modalidades que requieren la aplicación de fuerza vertical superando el peso corporal.

** Véase el análisis específico del metabolismo en el capítulo 4.

Original del autor.

Síntesis

- La capacidad de un sujeto para manifestar fuerza es dependiente de una variedad de factores neurofisiológicos definidos por la capacidad contráctil, que depende de la distribución porcentual del tipo de fibra muscular, la hipertrofia muscular, el reclutamiento y la frecuencia de estimulación de unidades motrices y el metabolismo; por el ciclo de estiramiento-acortamiento, que determina la reutilización de energía

elástica y la activación del reflejo miotático, y por la transferencia del potencial de fuerza a la acción motriz específica.

- Para una elevada manifestación de fuerza explosiva es requisito básico disponer de un elevado porcentaje de fibras tipo II, especialmente tipo IIB, poco resistentes pero con elevada capacidad para realizar contracciones rápidas. Este aspecto es especialmente relevante si consideramos que probablemente no es posible incrementar con el entrenamiento el porcentaje de este tipo de fibras musculares.
- La manifestación de fuerza explosiva también depende de la hipertrofia selectiva de fibras tipo II, tipo IIB cuando la carga es baja y tipo IIA y IIB cuando la carga es alta. Un adecuado entrenamiento permite incrementar la hipertrofia de este tipo de fibras musculares. Sin embargo, el grado de hipertrofia debe adecuarse al contexto de la competición, en la que se requiere la manifestación de fuerza explosiva, considerando especialmente si se debe superar o no el peso corporal, la dirección de aplicación de la fuerza, la magnitud de la resistencia y el reglamento competitivo.
- El reclutamiento y la frecuencia de estimulación de las unidades motrices que determinan la contracción muscular depende de la magnitud de la carga. Independientemente de la magnitud de la carga, se manifiesta mayor fuerza explosiva cuanto mayor es el reclutamiento de unidades motrices y cuanto mayor es su frecuencia de estimulación. Ambos factores determinan las principales adaptaciones asociadas al entrenamiento de fuerza explosiva.
- El metabolismo es el factor que finalmente determina que la energía química se transforme en energía mecánica. La capacidad metabólica de un sujeto para manifestar fuerza explosiva depende mucho del porcentaje de fibras tipo II. Un incremento de estas fibras musculares de la potencia de las vías metabólicas que permiten obtener mayor energía por unidad de tiempo, aláctica y láctica, determinan un incremento de la manifestación de fuerza explosiva.
- La mayoría de las acciones deportivas se caracterizan por una acción excéntrica que precede a la acción concéntrica del músculo. Cuando este ciclo de estiramiento-acortamiento es muy rápido, parte de la energía elástica acumulada en la fase excéntrica se transforma en energía mecánica en la fase concéntrica, y además los mecanismos de contracción se potencian por la activación del reflejo miotático como

consecuencia de un estiramiento intenso. Ambos factores determinan una mayor manifestación de fuerza explosiva, especialmente cuando la carga es baja, ya que permite un ciclo de estiramiento-acortamiento más rápido.

- La manifestación de fuerza explosiva finalmente depende de que el deportista manifieste en las acciones motrices específicas de competición el mayor porcentaje posible del potencial de que dispone, asociado a su capacidad contráctil y a su capacidad de aprovechamiento del ciclo de estiramiento-acortamiento. Este aspecto se conoce como la capacidad de transferencia de la fuerza a la acción motriz específica o coordinación intermuscular.
- Para la mayoría de las modalidades deportivas en las que se manifiesta fuerza resistencia se requiere disponer de un elevado porcentaje de fibras tipo I, que generan poca fuerza pero son muy resistentes. Las fibras tipo II, especialmente tipo IIA, son determinantes si hace falta manifestar fuerza resistencia con cargas elevadas y/o a una velocidad de ejecución próxima a la máxima.
- La importancia de la hipertrofia muscular para la manifestación de fuerza resistencia únicamente debe considerarse en situaciones muy concretas, como cuando se requiere una velocidad de ejecución próxima a la máxima, cuando la resistencia a vencer es relativamente elevada y cuando la duración del esfuerzo es relativamente corta y la fuerza de la gravedad no es determinante del rendimiento.
- Para la manifestación de fuerza resistencia probablemente las adaptaciones neurales están asociadas a manifestar la misma fuerza reclutando menos unidades motrices y a menor frecuencia de estimulación, y/o reclutando unidades motrices de menor tamaño, y/o repartiendo la fuerza requerida entre más unidades motrices o alternando su reclutamiento.
- La manifestación de fuerza resistencia es lógicamente depende mucho del potencial metabólico del deportista. Predomina el metabolismo anaeróbico cuando la fuerza resistencia se manifiesta con cargas elevadas y/o a una velocidad próxima a la máxima, y predomina el metabolismo aeróbico conforme aumenta la duración del esfuerzo. Son numerosos los factores fisiológicos y mecánicos asociados al metabolismo de fuerza resistencia, y por esto reciben un tratamiento específico en el capítulo 4.

- Es inherente a la manifestación de fuerza resistencia una duración del CEA relativamente elevada, por lo que sus factores no se consideran determinantes.
- Para la manifestación de fuerza resistencia es determinante la transferencia de la fuerza a la acción motriz específica, en este caso proporcionando para la mayoría de las modalidades deportivas una mejor economía de esfuerzo.

Cuestionario de asimilación

1. Explica en qué criterio podemos basarnos para determinar si en una acción motriz ha intervenido en mayor o menor medida la energía elástica y el reflejo miotático en la manifestación de fuerza.
2. Enumera los procesos neurofisiológicos que determinan la manifestación de fuerza explosiva en una acción concéntrica y en una acción excéntrico-concéntrica.
3. Enumera los factores que determinan la manifestación de fuerza de un deportista.
4. Explica cómo se produce la interconversión de las fibras musculares dependiendo del tipo de entrenamiento realizado.
5. Define la relación entre la frecuencia de estimulación de las unidades motrices y la fuerza manifestada.
6. Justifica en qué zona de intensidad relativa se observa el mayor incremento de hipertrofia muscular.
7. Establece la relación entre la hipertrofia muscular y el rendimiento en las distintas modalidades deportivas.
8. Explica las diferencias entre coordinación intramuscular y coordinación intermuscular.
9. Define las diferencias en la activación de las unidades motrices entre una contracción progresiva isométrica submáxima y una contracción explosiva.
10. Justifica la importancia de trabajar la fuerza con ejercicios que se asemejen a los de la competición.

- 11.** Establece la relación entre el tipo de fibra muscular y su reclutamiento, las características de la manifestación de fuerza resistencia y el metabolismo.
- 12.** Define las diferencias en el objetivo de entrenamiento perseguido para la coordinación intramuscular entre las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva y las que necesitan la manifestación de fuerza resistencia.

Niveles de entrenamiento resistido y asistido de las distintas manifestaciones de fuerza

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender la importancia que para el desarrollo de la fuerza explosiva tiene aplicar estímulos con una magnitud de carga superior e inferior a la de competición.
- Comprender la importancia que para el desarrollo de la fuerza resistencia tiene además aplicar estímulos que requieran con la carga de competición la manifestación de mayor y menor fuerza.
- Asociar la relación del trabajo con cargas superiores e inferiores a la de competición y/o de mayor intensidad con los distintos objetivos de entrenamiento neurofisiológicos y metabólicos.

Índice

[3.1. Niveles de entrenamiento de la manifestación de fuerza explosiva](#)

[3.2. Niveles de entrenamiento de la manifestación de fuerza resistencia](#)

[Síntesis](#)

[Cuestionario de asimilación](#)

Ahora conoces los factores que determinan el nivel de fuerza que un deportista es capaz de manifestar en una acción motriz específica y, por tanto, los objetivos que debe perseguir el entrenamiento de fuerza. Se ha establecido en el capítulo 2 la importancia de desarrollar los niveles de entrenamiento resistido y asistido para optimizar la fuerza específica requerida en competición. En este apartado mostramos la relación que existe entre trabajar con cargas superiores e inferiores a las de competición y los distintos objetivos neurofisiológicos y metabólicos que determinan el nivel de fuerza manifestado por un deportista, y con ello, comprenderás la importancia de desarrollar los distintos niveles de entrenamiento para optimizar la fuerza explosiva y la fuerza resistencia.

3.1. Niveles de entrenamiento de la manifestación de fuerza explosiva

La manifestación de fuerza explosiva requiere la ejecución de las acciones a la máxima intensidad. Por este motivo, no es posible dificultar el nivel de entrenamiento incrementando la intensidad del esfuerzo. La base del entrenamiento de la manifestación de fuerza explosiva requiere aumentar o disminuir la magnitud de fuerza desarrollada mediante el planteamiento de estrategias que modifiquen la resistencia que debe superar el deportista. Desde esta perspectiva, como se ha resaltado en el apartado 5 del capítulo 2, la fuerza explosiva debe trabajarse sobre la base de los niveles de entrenamiento resistido y asistido, que soliciten, respectivamente, la aplicación de un nivel de fuerza superior e inferior al requerido en competición.

El efecto final pretendido con el entrenamiento de fuerza explosiva es que el deportista manifieste la máxima fuerza posible ante la magnitud de carga específica de competición. En este sentido, la **optimización de la fuerza explosiva** requiere fundamentalmente la ejecución de **ejercicios específicos (nivel específico)** donde se manifiesta la fuerza con la magnitud, velocidad y acción motriz de la competición. Sin embargo, en las condiciones específicas de competición, el deportista no es capaz de manifestar toda la fuerza de que dispone debido a que en el tiempo que tiene para manifestar la fuerza sólo recluta un porcentaje relativo de unidades motrices, a una determinada

frecuencia de estimulación y con un relativo aprovechamiento de la reutilización de la energía elástica y de la activación del reflejo miotático.

Como se ilustra en la figura 3.23, basándonos en las justificaciones neurofisiológicas explicadas, si en el entrenamiento sometemos al deportista a **magnitudes de carga superiores** a las de competición (**nivel resistido**), el incremento del tiempo de contracción muscular permitirá el **reclutamiento de un mayor número de unidades motrices** e incrementar la fuerza manifestada. Si en el entrenamiento sometemos al deportista a **magnitudes de carga inferiores** a las de competición (**nivel asistido**), conseguiremos que reclute menos unidades motrices, pero, debido a la menor duración del CEA, se reclutarán **fibras más rápidas**, estimulando una **elevada frecuencia de activación** y una **mayor velocidad de movimiento**, y además se incidirá en una mayor **reutilización de la energía elástica** y **potenciación del reflejo miotático**.

Si hay un entrenamiento adecuado que permita una óptima **transferencia al gesto de competición**, lo que se pretende con el entrenamiento con cargas superiores es que parte del mayor número de unidades motrices se recluten posteriormente en el ejercicio de competición; de la misma forma, lo que pretendemos con el entrenamiento con cargas inferiores a las de competición es que parte de la mayor velocidad de movimiento, de la mayor reutilización de la energía elástica y del mayor aprovechamiento del reflejo miotático se manifieste posteriormente en el ejercicio de competición. Como consecuencia, si en el gesto específico de competición se evidencia un mayor reclutamiento, una mayor frecuencia de estimulación y un mayor aprovechamiento de la energía elástica y del reflejo miotático, el nivel de fuerza será superior al manifestado previamente al desarrollo de los niveles de entrenamiento resistido y asistido.

3.2. Niveles de entrenamiento de la manifestación de fuerza resistencia

En las **acciones estáticas** que requieren la manifestación de la fuerza resistencia, la única forma de modificar el nivel de fuerza respecto al de competición es incrementando o disminuyendo la resistencia que se debe superar (**nivel resistido y nivel asistido**).

Sin embargo, la mayoría de las acciones que requieren la manifestación de

fuerza resistencia se caracterizan por la **repetición cíclica del movimiento**, manifestando en cada ciclo un nivel de fuerza inferior a la máxima fuerza posible. Para todas estas acciones existen dos vías para incrementar o disminuir el nivel de fuerza manifestado en competición: (i) **modificar la velocidad de ejecución** (niveles de entrenamiento facilitado y dificultado), y (ii) **modificar la magnitud de la carga** a superar (niveles de entrenamiento resistido y asistido).

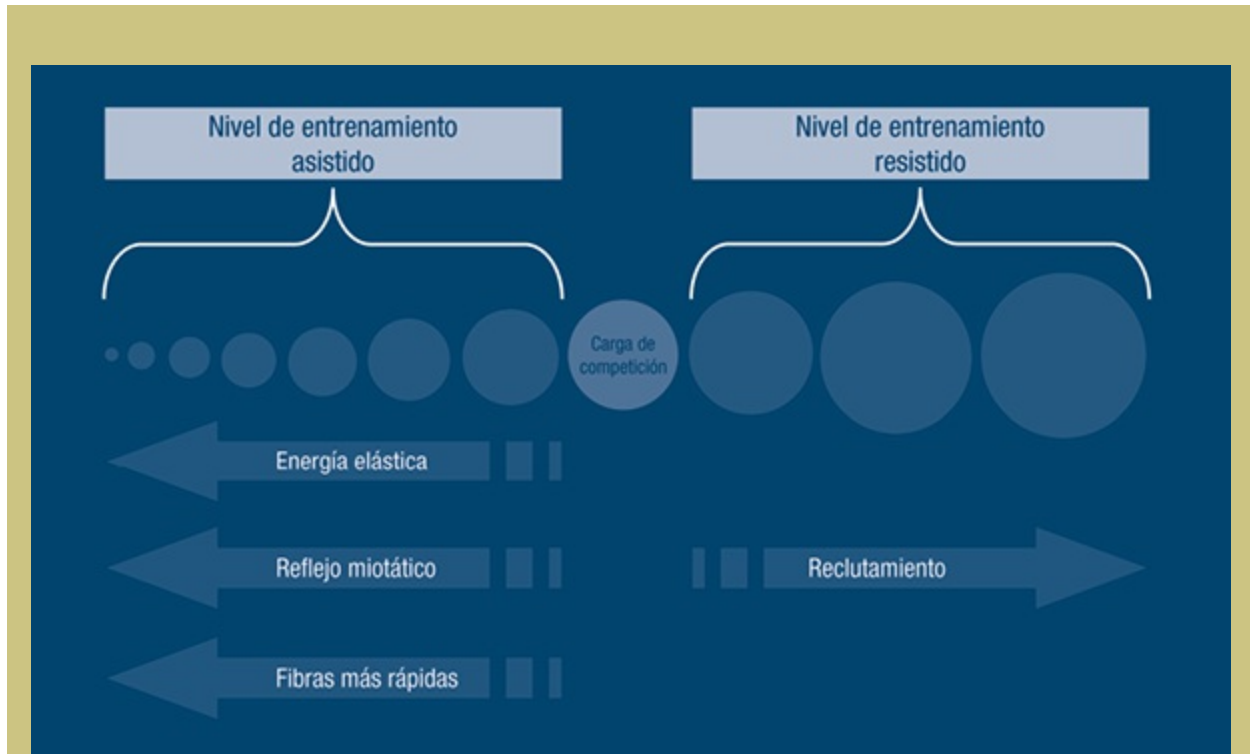


FIGURA 3.23. Objetivos neuromusculares de los niveles de entrenamiento de fuerza explosiva asistido y resistido. Esta figura resalta la importancia de entrenar la manifestación de fuerza explosiva con una magnitud de carga superior (nivel resistido) e inferior a la de competición (nivel asistido). Una carga inferior a la de competición permite un CEA más rápido asociado a una mayor reutilización de energía elástica, la activación del reflejo miotático y el reclutamiento de fibras más rápidas caracterizadas por una mayor frecuencia de estimulación. Una carga superior a la de competición permite manifestar mayor fuerza mediante el reclutamiento de más unidades motrices.

Original del autor.

El incremento o la disminución del nivel de fuerza asociado a una **modificación de la velocidad de ejecución** es la principal vía de optimización de la fuerza resistencia y constituye, respectivamente, la base del **entrenamiento dificultado o facilitado** característico de los **métodos**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

tradicionales del entrenamiento de resistencia (véase el apartado 2.7 del capítulo 4). Hay que considerar que la modificación de la velocidad de ejecución respecto a la de competición permite simultáneamente dificultar y facilitar los parámetros asociados a la fuerza y trabajar en una zona metabólica de mayor o menor intensidad que la de competición. Desde la perspectiva de la fuerza, una misma velocidad de desplazamiento puede ser consecuencia de una diferente combinación del intervalo temporal del ciclo motriz y de la fuerza aplicada en cada ciclo. La modificación de la velocidad de desplazamiento puede realizarse manteniendo la frecuencia de ciclo motriz y variando la fuerza aplicada, cambiando la frecuencia de ciclo motriz para la misma aplicación de fuerza o modificando ambas variables. Habitualmente se disminuye o se incrementa simultáneamente la frecuencia y magnitud de la fuerza de forma natural al disminuir o aumentar la velocidad de desplazamiento. La ejecución de una menor velocidad que en competición solicita menor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza, pero constituye la base para la ejecución de métodos que demandan mayor exigencia de fuerza asociada a la ejecución de una velocidad superior a la de competición.

La manifestación de fuerza resistencia puede trabajarse **modificando la magnitud de la carga** que hay que superar sobre la base de los niveles de entrenamiento resistido y asistido. El **nivel de entrenamiento resistido** permite incidir en una mayor manifestación de fuerza incrementando mediante diferentes medios la resistencia que se debe superar. El **nivel de entrenamiento asistido** permite incidir en una mayor frecuencia de aplicación de la fuerza. El objetivo final es incrementar el nivel de fuerza del deportista para que a velocidad de competición solicite un menor porcentaje de aquélla, e incrementar la frecuencia de aplicación de fuerza. Un menor porcentaje en la aplicación de fuerza para una misma velocidad de desplazamiento está asociado a la ejecución de un esfuerzo en una zona metabólica de menor intensidad, probablemente como consecuencia de una mayor participación relativa de las fibras lentas y de una menor contribución del metabolismo anaeróbico. Esto permitirá que el deportista pueda incrementar la velocidad de desplazamiento en competición.

Síntesis

- La modificación de la magnitud de carga que requiere ser superada en una acción

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

motriz específica de competición es la estrategia para establecer los distintos niveles de entrenamiento asociados al desarrollo de la fuerza explosiva.

- El desarrollo del nivel de entrenamiento resistido de la fuerza explosiva requiere ejercicios que se asemejen a la acción motriz específica de competición incrementando la magnitud de carga y ejercicios con sobrecargas. El incremento de la carga permite manifestar mayor fuerza que en competición solicitando un mayor reclutamiento de unidades motrices.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento asistido de la fuerza explosiva precisa ejercicios que se asemejen a la acción motriz específica de competición disminuyendo la magnitud de carga. Esta disminución permite reducir la duración del CEA asociado a una mayor reutilización de la energía elástica y activación del reflejo miotático.
- Además de la modificación de la magnitud de carga de la acción motriz específica de competición, es necesario en la mayoría de las modalidades deportivas modificar la velocidad de ejecución con la carga de competición para establecer los distintos niveles de entrenamiento asociados al desarrollo de la fuerza resistencia.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento resistido de la fuerza resistencia precisa ejercicios que se asemejen a la acción motriz específica de competición incrementando la magnitud de carga y ejercicios con sobrecargas. El incremento de carga permite manifestar mayor fuerza que en competición en cada ciclo de movimiento.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento asistido de la fuerza resistencia requiere ejercicios que se asemejen a la acción motriz específica de competición disminuyendo la magnitud de la carga. Esta disminución permite aumentar, respecto a la competición, la frecuencia de aplicación de fuerza.
- Los niveles de entrenamiento resistido y asistido de la fuerza resistencia persiguen utilizar a velocidad de competición un menor porcentaje del potencial de fuerza de que dispone el deportista con el objetivo de retrasar la fatiga y/o incrementar la velocidad de desplazamiento.
- La modificación de la velocidad de ejecución con la carga requerida en competición permite desarrollar los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de la fuerza resistencia, que tienen por objetivo incidir respectivamente en zonas metabólicas de menor y mayor exigencia que la de competición.

Cuestionario de asimilación

1. Explica la importancia relativa de los factores que determinan la manifestación de fuerza explosiva según la resistencia que hay que superar.
2. Define las implicaciones que tiene para el entrenamiento de fuerza explosiva la relación entre la magnitud de carga con el reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices y con el aprovechamiento del CEA.

- 3.** Justifica el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva y para el desarrollo de la fuerza resistencia.
- 4.** Indica qué procesos neurofisiológicos justifican la necesidad de trabajar con cargas superiores a las de competición.
- 5.** Indica qué procesos neurofisiológicos justifican la necesidad de trabajar con cargas inferiores a las de competición.
- 6.** Establece la relación entre la velocidad de ejecución, la magnitud de carga y el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento de fuerza explosiva y de fuerza resistencia.

Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva

Alejandro Legaz-Arrese, Luis Enrique Carranza García

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer el mapa conceptual de los medios de entrenamiento para desarrollar la fuerza explosiva.
- Comprender la combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva y su adecuación al nivel del deportista y a la manifestación de fuerza requerida en competición.
- Comprender la combinación óptima de los componentes del entrenamiento con ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza explosiva.
- Comprender la justificación de programar entrenamientos que combinen ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos.
- Comprender la importancia de un desarrollo equilibrado de la fuerza.
- Conocer el estado actual y las limitaciones de la investigación asociada a la programación del entrenamiento de fuerza explosiva.
- Diseñar sobre la base del conocimiento actual programas de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva requerida en las distintas modalidades deportivas.

Índice

- 4.1. Desarrollo de fuerza explosiva mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas
 - Análisis de los componentes del entrenamiento con sobrecargas
 - Tipo de acción muscular
 - Selección de ejercicios
 - Secuencia de ejercicios en una sesión
 - Intensidad o carga asignada a cada ejercicio

- Velocidad de ejecución de las repeticiones
- Número de repeticiones
- Volumen en una sesión
- Descanso entre series y ejercicios
- Frecuencia de entrenamiento semanal

Métodos de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de fuerza explosiva

- Método de 1-6 RM a potencia máxima
- Método de 6-12 RM a potencia máxima
- Método de 12-26 RM a potencia máxima
- Otros métodos y variantes para el desarrollo de fuerza explosiva

4.2. Desarrollo de fuerza explosiva mediante la ejecución de ejercicios específicos

Análisis de los componentes del entrenamiento con ejercicios específicos

Tipo de acción muscular

- Selección de ejercicios
- Secuencia de ejercicios
- Intensidad o carga asignada a cada ejercicio
- Velocidad de ejecución y duración de las repeticiones
- Número de repeticiones
- Volumen en una sesión
- Descanso entre series y ejercicios
- Frecuencia de entrenamiento semanal

Métodos de entrenamiento con ejercicios específicos para el desarrollo de fuerza explosiva

- Método específico a potencia máxima
- Método específico resistido a potencia máxima
- Método específico asistido a potencia máxima

4.3. Desarrollo de fuerza explosiva realizando en una sesión ejercicios con sobrecargas y específicos

4.4. Desarrollo del equilibrio de fuerza agonista/antagonista, dominante/no dominante

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Con el objetivo de desarrollar los distintos factores neurofisiológicos, la **optimización de la fuerza explosiva** requerida en una determinada acción motriz debe plantearse mediante la ejecución de métodos de trabajo con una **carga equivalente, superior e inferior a la de competición**. Como uno de los factores más determinantes del rendimiento es la capacidad del deportista para manifestar en el gesto específico el mayor porcentaje posible de la fuerza de que dispone, la modificación de la carga debe realizarse fundamentalmente en los **ejercicios específicos** de competición. Para mantener un nivel de ejecución motriz óptimo, el porcentaje de variación de la carga en los ejercicios específicos no puede ser elevado. Por este motivo, como se representa en la figura 3.24, además del entrenamiento con ejercicios específicos se requiere la ejecución de **ejercicios con pesas o sobrecargas**, que, aunque son menos específicos, permiten desarrollar niveles superiores de fuerza y trabajar otros objetivos de entrenamiento. En este apartado mostramos la combinación óptima de los componentes del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva mediante ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos, así como la importancia de equilibrar el nivel de fuerza entre los distintos grupos musculares.

4.1. Desarrollo de fuerza explosiva mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas

El **entrenamiento con sobrecargas** ha mostrado ser efectivo para mejorar la velocidad en tareas motrices específicas como golpes (Taïna *et al.*, 1992), lanzamientos (Cardoso y González-Badillo, 2006) y saltos (Newton *et al.*, 1999). Sin embargo, la efectividad de un programa de entrenamiento con sobrecargas para obtener una adaptación específica depende de la manipulación de las variables o componentes del entrenamiento (Kraemer y Ratamess, 2004). En la tabla 3.10 se definen los principales **componentes del entrenamiento** con sobrecargas.

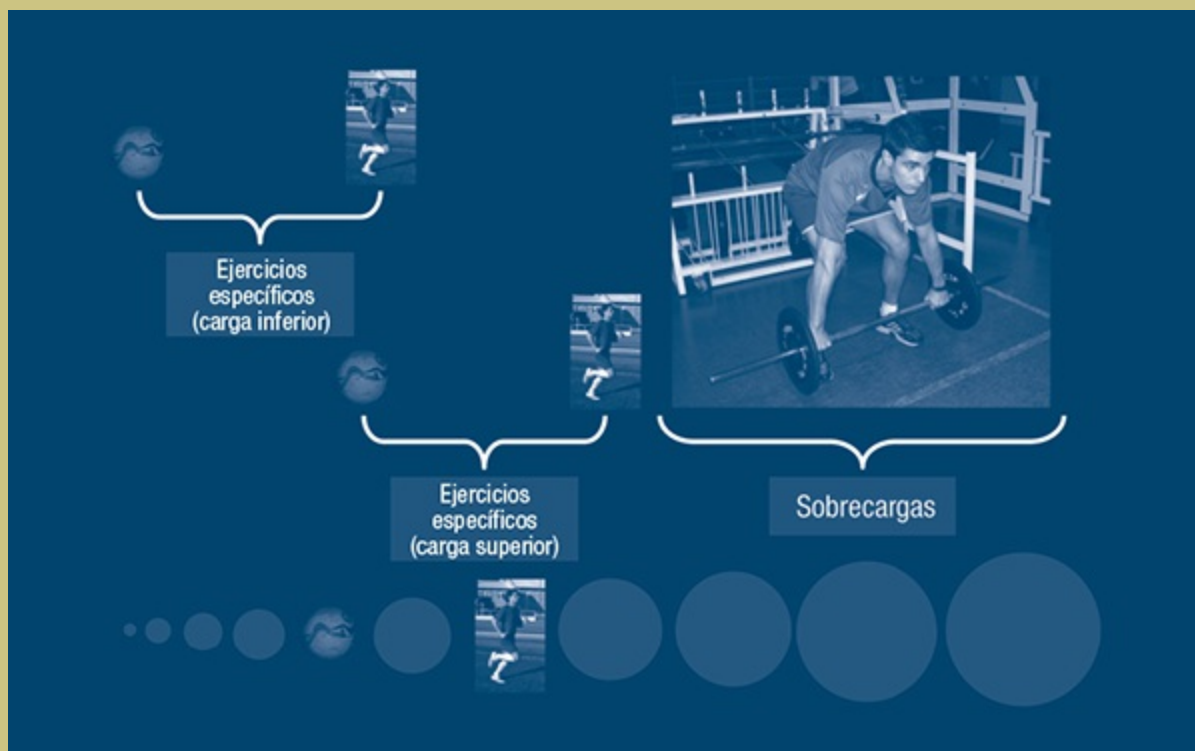


FIGURA 3.24. Mapa conceptual de la metodología para desarrollar la fuerza explosiva en una determinada acción motriz. El nivel de entrenamiento específico requiere la ejecución de acciones que sean equivalentes en motricidad y en carga a la acción motriz específica de competición. Al menos para la mayoría de modalidades deportivas caracterizadas por una magnitud de carga relativamente baja, el nivel de entrenamiento asistido requiere un CEA más rápido simulando la acción motriz de competición con una magnitud de carga inferior. Además de la ejecución de acciones motrices específicas con una magnitud de carga superior a la de competición, el nivel de entrenamiento resistido permite también desarrollar el máximo potencial de fuerza con la ejecución de ejercicios con sobrecargas o pesas que permiten una manifestación de fuerza muy superior a los ejercicios específicos.

Original de los autores con permiso del deportista.

Cada una de las variables definidas identifica un solo componente de una única sesión de entrenamiento de fuerza. Existen numerosas alternativas para cada uno de los componentes, lo que determina la enorme variabilidad de sesiones de entrenamiento de fuerza que pueden ser programadas. Si consideramos que el proceso de entrenamiento representa una planificación a largo plazo, resulta todavía más asombroso la variabilidad de la prescripción del entrenamiento de fuerza y, por tanto, supuestamente la variabilidad de respuestas adaptativas.

Analizamos los principales efectos asociados a la modificación de cada uno de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para posteriormente establecer la combinación óptima para el desarrollo de la fuerza explosiva.

Análisis de los componentes del entrenamiento con sobrecargas

Tipo de acción muscular

Debido a que el CEA es inherente a la mayoría de las acciones que requieren la manifestación de fuerza explosiva, los **ejercicios con sobrecargas** deben ejecutarse mediante acciones dinámicas, incluyendo las **fases excéntrica y concéntrica** del movimiento. Además, como se ha indicado previamente, incluso a una intensidad relativa de carga elevada el nivel de fuerza manifestado es superior cuando se realiza el CEA (Cronin *et al.*, 2003).

Esto no excluye que en determinados momentos de la planificación del entrenamiento de fuerza se pueda incidir en mayor medida en la fase concéntrica o en la excéntrica del movimiento en función de distintos objetivos. De acuerdo con Crewther *et al.*, (2005), del hecho de que los principales cambios del incremento de fuerza se adscriban a los elementos contráctiles del músculo se deduce que la realización de un entrenamiento exclusivamente concéntrico, eliminando la influencia del CEA, puede producir como respuesta una opción atractiva de entrenamiento para un mayor desarrollo de la maquinaria contráctil.

TABLA 3.10. Conceptualización de los componentes del entrenamiento que determinan los distintos programas de entrenamiento de fuerza

<i>Variable</i>	<i>Conceptualización</i>
Acción muscular	Determina el tipo de contracción muscular: dinámica, concéntrica, excéntrica, excéntrico-concéntrica, isométrica
Ejercicios	Determina qué ejercicios son seleccionados en un programa de entrenamiento
Orden de ejercicios	Determina la secuencia de ejecución de los ejercicios en una sesión de entrenamiento
Intensidad	Determina el peso asignado a cada ejercicio y su relación con la intensidad relativa de carga
Velocidad de ejecución	Determina a qué velocidad se desplaza la carga en la fase concéntrica y excéntrica del movimiento
Repeticiones	Determina el número de repeticiones realizadas y se relaciona con el máximo número posible para cada intensidad relativa de carga
Descanso	Determina el tiempo de descanso entre series y ejercicios en una sesión de entrenamiento
Volumen	Cantidad de trabajo realizado en una sesión de entrenamiento, número de series y de repeticiones
Frecuencia	Determina el número de sesiones de entrenamiento realizadas en un período de tiempo (p. ej., 1 semana)

Original de los autores.

Aunque es coherente incidir en determinados momentos en la fase concéntrica o en la excéntrica, de acuerdo con Kraemer y Ratamess (2004), el papel de la manipulación del tipo de acción muscular en el entrenamiento con sobrecargas es mínimo a la vista de que la mayoría de los programas deben incluir acciones excéntricas y concéntricas del músculo en cada una de las repeticiones. Una de las variantes de la acción muscular de mayor interés es la **ejecución balística** de la fase concéntrica. Este aspecto se analiza posteriormente en el análisis de los ejercicios asociados al entrenamiento con sobrecargas.

Selección de ejercicios

Destacamos la diferenciación de ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas con el objetivo de discriminar los que pueden tener mayor utilidad para el desarrollo de la fuerza explosiva en una determinada acción motriz.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Ejercicios en máquinas o con pesos libres

Un mismo ejercicio, por ejemplo, una sentadilla o una prensa de pecho, puede realizarse en máquina o con peso libre (barra y mancuernas). Las **máquinas** están limitadas por su diseño a la ejecución sobre un **único plano**, ocasionando un entrenamiento aislado de los músculos y una falta de exigencia para mantener el equilibrio en distintos planos de movimiento. En cambio, los **pesos libres** permiten un mayor **grado de libertad de movimiento**, mayor coordinación intra e intermuscular, mayor potencia muscular y alta demanda de estabilización de la carga, y, por tanto, posiblemente mayor transferencia de la fuerza obtenida al rendimiento de las acciones motrices específicas (Crewther *et al.*, 2005; Stone 1982). Recientemente se ha sugerido que la tecnología neumática puede ofrecer ventajas específicas respecto al entrenamiento tradicional con pesos libres. La **resistencia neumática** ofrece una carga desarrollada mediante la **presión de aire**, lo que implica que el efecto de la masa y la inercia son reducidos, permitiendo una **velocidad de movimiento mayor** durante toda la amplitud de movimiento. Se ha demostrado que en relación con la técnica balística (analizada posteriormente) la resistencia neumática determina mayor velocidad de movimiento y mayor activación muscular en la parte final del movimiento (Frost *et al.*, 2008). Esto sugiere al menos la necesidad de investigar a largo plazo los efectos diferenciales de entrenar con tecnología neumática y con pesos libres.

Ejercicios uniarticulares-multiarticulares

Los **ejercicios uniarticulares** (prensa militar, *peckdeck*, curl de bíceps, extensión de cuádriceps, etc.) se realizan para aislar **grupos musculares específicos** y plantean menor riesgo de lesión debido a la escasa dificultad de ejecución técnica, pero distan de las acciones de competición caracterizadas por la combinación sincronizada de la mayoría de los grupos musculares. En cambio, los **ejercicios multiarticulares** (sentadilla, prensa de pecho, subida al banco, *split*, ejercicios olímpicos, etc.) requieren una **mayor exigencia de la coordinación intermuscular** y también están asociados a la movilización de cargas superiores con una elevada demanda de reclutamiento de unidades motrices. Estos ejercicios se consideran los más efectivos para incrementar el nivel de fuerza y de potencia (Kraemer y Ratamess, 2004; Kawamori y Haff,

2004; Kraemer *et al.*, 2002; Fleck y Kraemer, 1997; Stone, 1982).

No todos los ejercicios multiarticulares tienen el mismo nivel de eficacia. Por ejemplo, en relación con la sentadilla completa, la ejecución de media sentadilla parece más apropiada para una óptima transferencia de la fuerza al gesto deportivo debido a la similitud del grado de flexión, al menor tiempo de contracción requerido y a la mayor proporción de utilización de fibras rápidas (Bosco *et al.*, 2000). La ejecución de una media sentadilla parece, por tanto, más apropiada para el objetivo de desarrollar la máxima potencia (~40-60% 1RM). El peso que se puede levantar en este ejercicio con una intensidad relativa más elevada es excesivo, pudiendo incrementar el riesgo de lesión en las rodillas y la columna (Faina *et al.*, 2007). Por el contrario, la sentadilla completa es un ejercicio menos relacionado con el rendimiento, pero permite trabajar con una intensidad relativa más elevada, incrementando el nivel de fuerza y fortaleciendo, al contrario que con la media sentadilla, los grupos musculares, tendones y ligamentos en toda la amplitud de movimiento de flexo-extensión de las extremidades inferiores, siendo por consiguiente un ejercicio más apropiado para la prevención de las lesiones de rodilla (Polliquin, 1992).

De los ejercicios multiarticulares, numerosos autores resaltan la importancia de la ejecución de los **ejercicios olímpicos** (arrancada, cargada y sus variantes) debido fundamentalmente a que la potencia desarrollada en estos ejercicios no puede ser igualada por ninguna otra forma de entrenamiento de fuerza (Haff *et al.*, 2001; Stone, 1993). En la figura 3.25 se observa que los valores de potencia de los ejercicios olímpicos son muy superiores a los del resto de ejercicios tradicionalmente ejecutados en el entrenamiento con sobrecargas. Aunque el peso levantado es superior en otros ejercicios como la sentadilla y la prensa de pecho, las características de la ejecución técnica de los ejercicios olímpicos determina **valores muy elevados de potencia** debido a que, para superar con éxito el levantamiento, se requiere la ejecución del movimiento a una velocidad de desplazamiento muy elevada (Garhammer, 1993; Häkkinen y Pakarinen, 1993).

En relación con otros ejercicios tradicionales, los ejercicios olímpicos permiten al deportista acelerar la barra a través de todo el movimiento y no requieren desacelerar la velocidad de la barra activamente (Hori *et al.*, 2008). Además, otras características de los ejercicios olímpicos como la implicación de la mayoría de los grupos musculares, la dificultad de **coordinación intermuscular** y la **rapidez del CEA** en la flexo-extensión de rodillas

determinan que sean considerados entre los más adecuados para maximizar el rendimiento en competición (Garhammer, 1993).

En los pocos estudios que han comparado un programa de entrenamiento que incluya ejercicios olímpicos con un programa de entrenamiento tradicional, se ha observado que la inclusión de ejercicios olímpicos produce un mayor incremento de 1RM y de la altura de salto vertical (Channell y Barfield, 2008), y una mayor aplicación de fuerza en acciones motrices específicas de fútbol americano (Hoffman *et al.*, 2004). Debido a la dificultad técnica de estos ejercicios, es necesaria una adecuada formación de los técnicos y el aprendizaje desde edades tempranas. Probablemente éstas sean las causas de que la mayoría de los equipos españoles de máxima categoría de diferentes deportes de equipo no incluyan los ejercicios olímpicos en sus programas de entrenamiento (Reverter-Masía *et al.*, 2009).

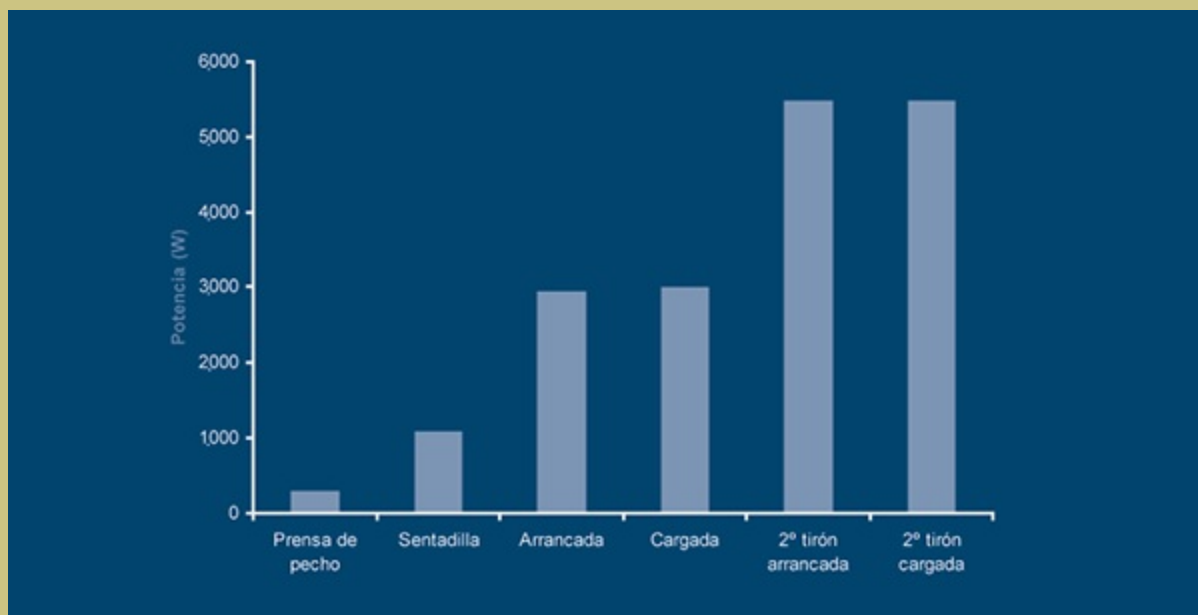


FIGURA 3.25. Diferencias entre distintos ejercicios en la potencia media desarrollada con una carga de 100 kg. Obsérvese que la potencia difiere significativamente entre ejercicios. La potencia manifestada en los ejercicios olímpicos y sus variantes no puede ser alcanzada por ningún otro ejercicio. En estos ejercicios con una intensidad relativa alta se requiere, además de una magnitud de fuerza elevada, su ejecución a gran velocidad para superar con éxito la resistencia a vencer, y, por tanto, la combinación óptima de fuerza y velocidad para alcanzar potencias elevadas.

Elaborado con datos de Stone MH. N Strength Cond J 1993;15:7-15.

Ejercicios balísticos-no balísticos

La **ejecución tradicional** de los ejercicios con sobrecargas como la sentadilla y la prensa de pecho determina dos fases de movimiento, una primera donde se evidencia un incremento de la velocidad de ejecución y una segunda donde inevitablemente hay una **fase de desaceleración** debido a que se finaliza el ejercicio a velocidad nula (figura 3.26). De esta forma, la manifestación de fuerza y de potencia en la ejecución, tradicional de un ejercicio con sobrecargas **difiere de la mayoría de las acciones motrices** deportivas, caracterizadas por un incremento de la velocidad de desplazamiento en toda la amplitud de movimiento. Esto implica que la máxima fuerza y aceleración durante el levantamiento tradicional no ocurren en el rango de movimiento que realmente se evidencia en la mayoría de los movimientos deportivos (Young *et al.*, 2001). Desde esta perspectiva, es dudosa la transferencia del desarrollo de la fuerza a los ejercicios específicos de competición.

A este respecto se ha aconsejado utilizar **ejercicios balísticos**, que se refieren a técnicas en las cuales la carga (la barra, un implemento o el propio peso corporal) se proyecta o se suelta al final de la fase concéntrica, siendo por tanto movimientos explosivos que **evitan la fase de desaceleración** posibilitando el incremento de velocidad durante toda la amplitud de movimiento. Como se observa en la figura 3.26, esto implica para las extremidades inferiores la ejecución de saltos con sobrecargas. Para las extremidades superiores existe actualmente una modificación de la máquina Smith que permite el lanzamiento de la barra (figura 3.27).

Además, se ha observado que la ejecución de un ejercicio con sobrecargas con técnica balística determina **niveles superiores de potencia** y de activación nerviosa respecto a la ejecución tradicional (Cronin *et al.*, 2003; Newton *et al.*, 1996) (figura 3.28). Como se observa en la figura 3.28, estos beneficios disminuyen con intensidades relativas muy elevadas, debido a la falta de habilidad para proyectar la barra o el propio peso corporal con este nivel de carga (Crewther *et al.*, 2005). También se ha demostrado que al ejecutar la técnica balística se mantienen niveles de fuerza superiores durante todo el rango de movimiento (Clark *et al.*, 2008). La inclusión de saltos con sobrecargas (intervalo de intensidad 26-48% 1RM) en un programa tradicional de entrenamiento con sobrecargas ha mostrado ser específicamente efectivo para mejorar la potencia, probablemente como consecuencia de adaptaciones neurales (Winchester *et al.*, 2008).

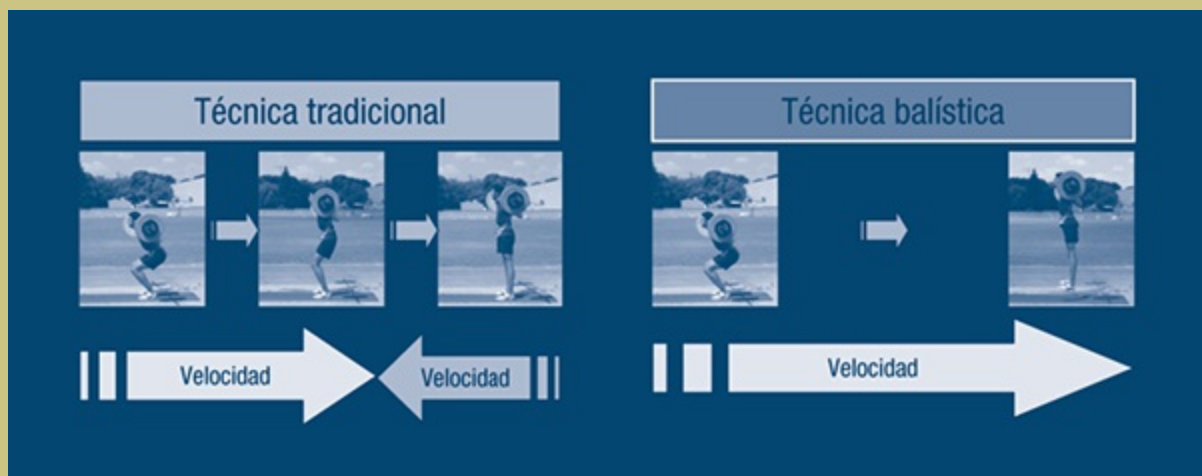


FIGURA 3.26. Diferencias en el perfil de la velocidad durante la amplitud de movimiento de un ejercicio con sobrecargas ejecutado con una técnica tradicional y otra balística. La ejecución tradicional de una media sentadilla obliga a una desaceleración en la parte final de la amplitud del movimiento. La desaceleración se puede evitar si este mismo ejercicio es finalizado con un salto. Obsérvese la importancia de incluir ejercicios balísticos con sobrecargas considerando que la mayoría de las acciones motrices son balísticas.

Original de los autores con permiso del deportista.

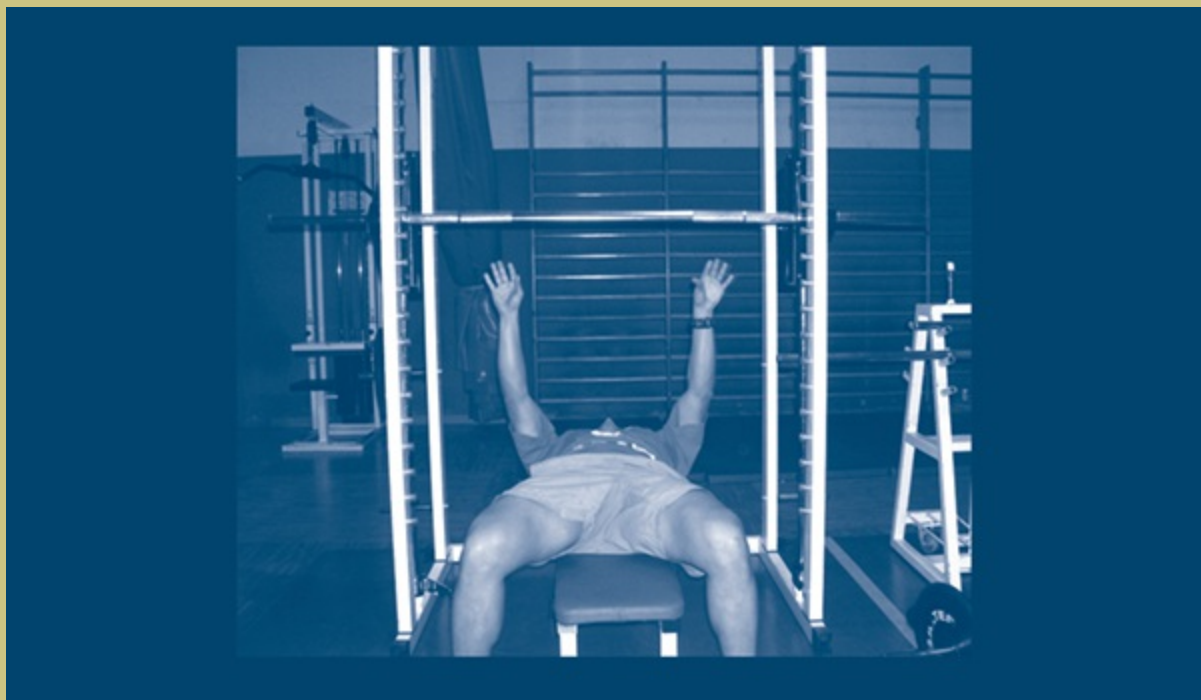


FIGURA 3.27. Ejecución del ejercicio de prensa de pecho mediante una técnica balística. Mediante la ejecución de un salto es posible establecer ejercicios balísticos con sobrecargas para las extremidades inferiores. Para las extremidades superiores se puede utilizar ejercicios con balones medicinales. Para la ejecución de una prensa de pecho, ejercicio principal del tren superior, se requiere, como cabe observar en la fotografía, una modificación de la máquina Smith que desacelere la carga después de haberla lanzado en la fase concéntrica del movimiento.

Cortesía de John Cronin J. School of Exercise. Biomedical and Health Sciences. Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia, Australia.

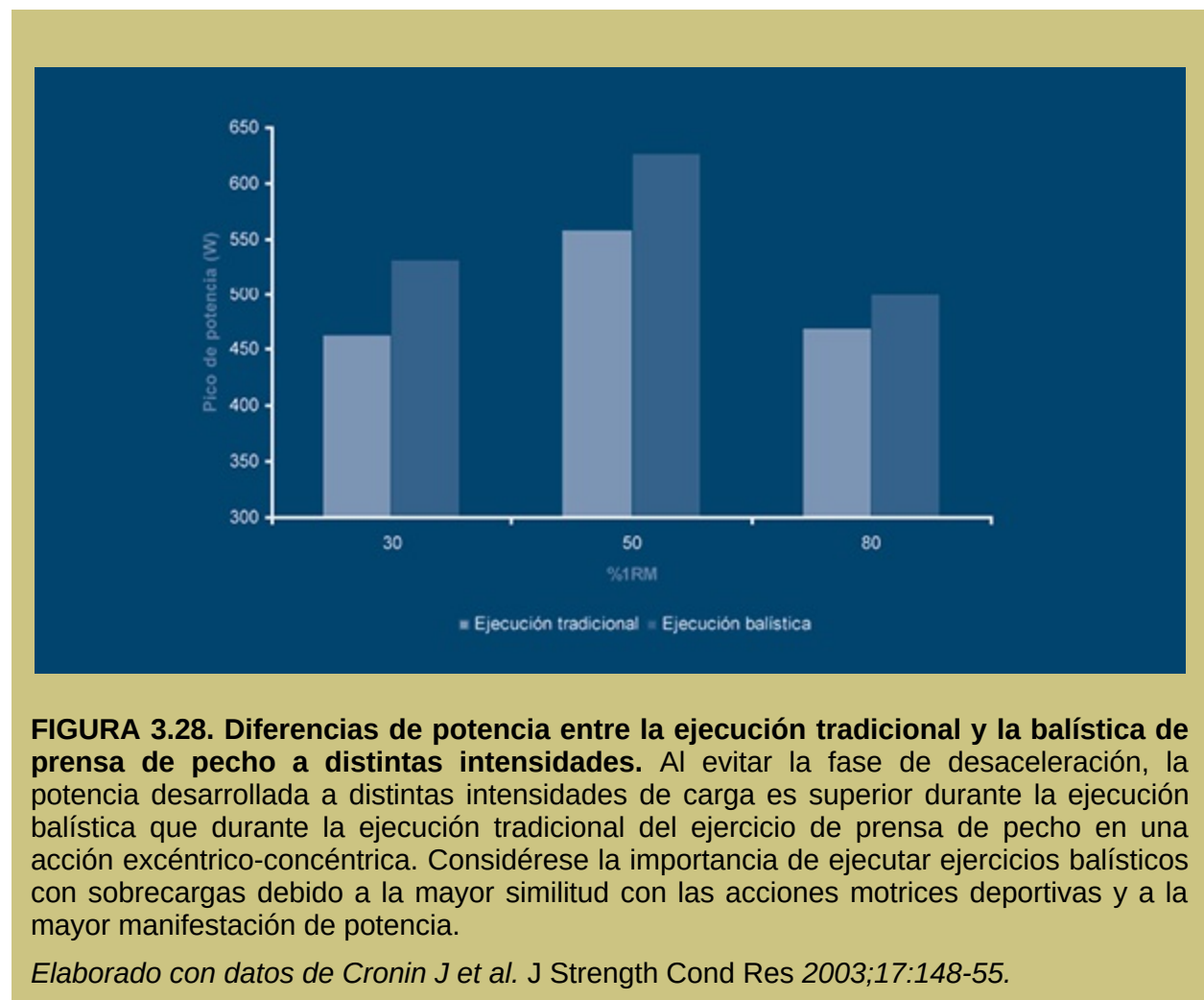
En consecuencia, la técnica balística desarrolla un perfil de velocidad más acorde con lo que sucede en la mayoría de las actividades deportivas y soluciona una de las principales limitaciones de la ejecución tradicional, en la que una parte importante del movimiento se usa para desacelerar la carga (McBride *et al.*, 2002). En definitiva, el entrenamiento con técnica balística puede proporcionar una **mayor transferencia de la fuerza al gesto deportivo**, solicitando simultáneamente una mayor frecuencia y reclutamiento selectivo de unidades motrices (Behm, 1995). Pese a la importancia de realizar ejercicios balísticos con sobrecargas, en el mencionado estudio de Reverter-Masía *et al.*, (2009) se observó que en un elevado porcentaje de los equipos españoles de máxima categoría de los principales deportes de equipo no se ejecutan saltos con sobrecargas, y es inexistente la realización del ejercicio prensa de pecho lanzado.

Secuencia de ejercicios en una sesión

Las sesiones con sobrecargas orientadas al desarrollo de la fuerza explosiva se caracterizan por la ejecución de no más de 2-3 ejercicios principales, que varían en función del período de planificación. Así, ejercicios básicos como la prensa de pecho y la sentadilla, orientados al desarrollo de niveles máximos de fuerza, se sitúan prioritariamente en períodos más alejados de la competición. Los ejercicios orientados al desarrollo de la potencia máxima como la media sentadilla, la prensa de pecho y los ejercicios olímpicos se introducen progresivamente conforme avanza el proceso de entrenamiento. Ejercicios más específicos como la ejecución de *split* o subida al banco y especialmente los ejercicios balísticos son los prioritarios al aproximarnos a la competición. Desde esta perspectiva, la secuenciación de los ejercicios en una sesión de entrenamiento no plantea excesivos problemas.

Sin embargo, en las sesiones de entrenamiento con sobrecargas, además de
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

ejecutar los ejercicios principales, se incluyen otros ejercicios como los orientados a equilibrar la ratio de fuerza de los músculos agonistas/antagonistas y del lado dominante/no dominante, los orientados al desarrollo de los músculos estabilizadores y los orientados a desarrollar grupos musculares específicos con niveles deficitarios de fuerza. También es habitual, como justificaremos posteriormente, la ejecución de distintos niveles de carga en un mismo ejercicio y la combinación de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos. En este sentido, los diferentes objetivos que pueden ser planteados en una sesión con sobrecargas determinan la necesidad de establecer unos criterios para una adecuada **secuenciación de ejercicios en una sesión** (figura 3.29).



El aspecto de mayor importancia si nuestro objetivo es desarrollar la fuerza explosiva es **no limitar la potencia** desarrollada. Así, los ejercicios
 *****ebook converter DEMO Watermarks*****

multiarticulares, que involucran mayor masa muscular, deben preceder a la ejecución de ejercicios uniarticulares, orientados al desarrollo de un grupo muscular específico (Kraemer y Ratamess, 2004). Por ejemplo, la ejecución de una sentadilla y de una prensa de pecho debe preceder, respectivamente, a la realización de un ejercicio de extensión de rodillas en máquina y de un ejercicio localizado en el tríceps. La ejecución previa de ejercicios localizados que intervienen en un ejercicio multiarticular limita en este ejercicio el nivel de carga, fuerza y potencia (Sforzo y Touey, 1996). Como el nivel de fuerza y de potencia es superior en los ejercicios ejecutados con barra, éstos deben preceder a los ejercicios con mancuernas. Con el mismo objetivo, los ejercicios asociados a la manifestación de un mayor nivel de potencia deben ejecutarse sin fatiga. Por ejemplo, un ejercicio olímpico debe preceder a la realización de una sentadilla, *split*, subida al banco, prensa de pecho, etc. Así, se ha demostrado que, si el entrenador quiere maximizar el rendimiento del atleta en un determinado ejercicio, éste debe realizarse al principio de la sesión (Gentil *et al.*, 2007). Si es necesario, la rotación de ejercicios orientados al desarrollo de la fuerza de las extremidades superiores e inferiores puede facilitar el proceso de recuperación asociado a un mayor nivel de potencia. Este objetivo también se consigue mediante el trabajo sucesivo de los ejercicios principales y los orientados a desarrollar la fuerza de los músculos antagonistas. En este sentido, desconocemos los efectos diferenciales de desarrollar los músculos antagonistas en la misma o en diferente sesión a la ejecución de los ejercicios principales.



FIGURA 3.29. Criterios y directrices para la secuencia de ejercicios en una sesión de entrenamiento con sobrecargas. Éstos son los principales criterios que debe considerar para secuenciar la ejecución de ejercicios en una sesión de entrenamiento con sobrecargas orientada al desarrollo de la fuerza explosiva. Considérense, con la ayuda del texto, las recomendaciones establecidas para cumplir estos criterios.

Original de los autores.

La mayoría de los ejercicios principales requieren para sostener y equilibrar la carga una elevada participación de los músculos estabilizadores. Por este motivo, **no fatigar los músculos estabilizadores** debe ser un criterio en la secuenciación de los ejercicios. Así, los ejercicios orientados al desarrollo de los músculos del tronco, antebrazos y abdominales se deben practicar al finalizar los ejercicios principales, que inciden en la manifestación de niveles elevados de fuerza y/o potencia.

Un método actualmente muy difundido en el ámbito del entrenamiento es la ejecución de distintas magnitudes de carga y la combinación de ejercicios con sobrecargas y específicos en una misma sesión de entrenamiento con el objetivo de **transferir la mayor fuerza de las cargas superiores** (véase el apartado 4.3). Este método, habitualmente denominado método de contrastes o combinado, se puede practicar con el mismo ejercicio (p. ej., sentadilla al 80% y 40% 1RM) o combinando ejercicios más básicos o generales con acciones motrices específicas de competición (p. ej., sentadilla al 40% 1RM y una aceleración).

La ejecución de un ejercicio con carga elevada debe preceder a la ejecución de uno con una carga más baja con el fin de incidir en la transferencia del reclutamiento de unidades motrices. Para transferir el mayor nivel de fuerza manifestado en los ejercicios con sobrecargas, éstos deben preceder a la ejecución de acciones motrices específicas.

Intensidad o carga asignada a cada ejercicio

Identificación de la intensidad relativa

La **intensidad o carga de un ejercicio** está determinada por el peso que debe superar el deportista. El conocimiento exclusivo del peso nos aporta información de la **intensidad absoluta** del ejercicio, que puede suponer una **intensidad relativa** que difiera significativamente entre deportistas y en un

mismo deportista en distintos momentos del proceso de entrenamiento. Por ejemplo, la ejecución de un ejercicio con 100 kg determina una intensidad relativa del 80% y 60% 1RM, respectivamente, para dos deportistas con un valor de 1RM de 125 y 167 kg. Para identificar la carga de entrenamiento es necesario conocer la intensidad relativa debido a que determina los efectos diferenciales del entrenamiento con sobrecargas.

Con este objetivo, el peso asignado en un determinado ejercicio se ha establecido mediante porcentajes relativos al peso corporal, mediante porcentajes relativos a 1RM, mediante el número de repeticiones y mediante porcentajes relativos a la potencia máxima.

Porcentaje del peso corporal. El control de la carga mediante **porcentajes del peso corporal** implica que dos sujetos con el mismo peso ejecutan un ejercicio a la misma intensidad absoluta. La utilización de este método implica asumir que dos sujetos con el mismo peso corporal tienen las mismas características de manifestación de fuerza, obviando aspectos diferenciales como la composición corporal, la distribución porcentual del tipo de fibras, la coordinación intra e intermuscular, el metabolismo, el estatus de entrenamiento, etc. Así, dos deportistas en los que estos factores difieran significativamente deben superar en un ejercicio el mismo peso, siendo la intensidad relativa de trabajo muy diferente, y por tanto, los efectos del entrenamiento. Además, no puede definirse los efectos que se obtienen sobre los distintos procesos neuromusculares y manifestaciones de fuerza al trabajar a determinados porcentajes del peso corporal. Aunque **este método se debe descartar habitualmente** para el control de la intensidad del entrenamiento con sobrecargas, en determinadas situaciones, la ausencia de precisión es compensada por la utilidad práctica. Por ejemplo, la ausencia de recursos humanos, temporales y tecnológicos implica que, cuando es necesario controlar a un grupo numeroso de deportistas con un perfil homogéneo, la determinación de la intensidad mediante porcentajes del peso corporal será útil en la programación del entrenamiento con sobrecargas, evitando así la realización de numerosos tests para cada uno de los ejercicios principales. El control de la intensidad mediante porcentajes del peso corporal también es de **utilidad en determinados ejercicios** en los que, por sus características de ejecución, es difícil calcular el valor 1RM, por ejemplo, los saltos con sobrecargas, *split*, subida al banco, etc.

Porcentaje de la carga máxima. El cálculo de **porcentajes respecto a la**

carga máxima (%1RM) que un deportista puede desplazar una única vez en un determinado ejercicio ha sido la forma más tradicional de controlar la intensidad del entrenamiento de fuerza. El peso correspondiente para cada porcentaje representa una medida de **intensidad relativa** debido a que es dependiente del valor de 1RM de cada deportista o de un mismo deportista en distintos momentos. En el mencionado ejemplo de dos deportistas cuyo valor de 1RM difiere en un determinado ejercicio, 125 y 167 kg, una intensidad relativa del 80% implica trabajar, respectivamente, con un peso de 100 y 134 kg. Está demostrado que el trabajo a distintos %1RM incide de forma específica y diferenciada en determinados objetivos de entrenamiento. Desde esta perspectiva, **este método se debe considerar adecuado** para el control de la intensidad en el entrenamiento con sobrecargas. Sin embargo, la determinación de %1RM plantea algunos **inconvenientes** que es necesario considerar.

La **determinación de la carga máxima** debe realizarse para todos los ejercicios en los que se quiera controlar la intensidad mediante %1RM. Esto supone, además de una elevada sobrecarga física y psicológica para el deportista, una gran cantidad de tiempo, especialmente si se precisa el control de un grupo numeroso de deportistas.

Debido a que la mayoría de los deportistas no trabajan habitualmente a una intensidad del 90-100% 1RM, la determinación directa de 1RM implica, además de un incremento del riesgo de lesión (Mazur *et al.*, 1993), la aplicación de una carga excesiva que requiere un elevado tiempo de recuperación.

Excepto los deportistas experimentados, con el máximo nivel de carga resulta complicado en determinados ejercicios mantener una ejecución técnica correcta; así, los valores obtenidos pueden estar asociados a un importante margen de error. El error en la determinación de 1RM puede aumentar debido a que los deportistas, para superar los valores de tests precedentes, pueden modificar la ejecución técnica del ejercicio fundamentalmente para solicitar otros grupos musculares y/o realizar una amplitud de movimiento incompleta. Estos inconvenientes pueden ser resueltos con la determinación indirecta de 1RM (véase el apartado 6.2).

Los valores de 1RM se modifican sustancialmente en el proceso de entrenamiento especialmente en sujetos con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza y después de un período sin entrenamiento intensivo con sobrecargas. En consecuencia, es necesario establecer continuamente la

evolución de los valores de 1RM en cada uno de los ejercicios para conocer la carga correspondiente a cada porcentaje durante el proceso de adaptación. En caso contrario, estaremos sometiendo al deportista a una intensidad relativa diferente a la previamente establecida y, por tanto, a un efecto de entrenamiento indeseado.

Al disminuir el %1RM se incrementa progresivamente el máximo número de repeticiones que pueden ser ejecutadas. Así, numerosos estudios han establecido distintas ecuaciones que relacionan el número de repeticiones que pueden ser ejecutadas a distintos %1RM. Como ejemplo, mostramos en la figura 3.30 la relación existente entre estas variables de acuerdo con la ecuación establecida por Brzycki (1993), por ser comúnmente una de las más aceptadas por los teóricos del entrenamiento. Desde esta perspectiva, es igual indicar que el deportista ha realizado una intensidad de 5RM o del 89% 1RM y de 10RM o del 75% 1RM. Aunque esta relación tiene evidentes aplicaciones prácticas y es ilustrada continuamente como criterio didáctico en este manual, hay que considerar que el número de repeticiones ejecutadas a un determinado %1RM está influido por el estatus de entrenamiento (Brown *et al.*, 1990) y principalmente por la amplitud del movimiento y la cantidad de masa muscular involucrada en el ejercicio, sobre todo en las intensidades más bajas (Izquierdo *et al.*, 2006a; Reynolds *et al.*, 2006; Shimano *et al.*, 2006). Así, el análisis de los datos aportados en el estudio de Izquierdo *et al.*, (2006a) muestra importantes variaciones en un grupo homogéneo de deportistas de elite del máximo número de repeticiones que pueden ser ejecutadas para un determinado %1RM entre los ejercicios de prensa de pecho y media sentadilla (tabla 3.11). También, para el mismo ejercicio y %1RM, se evidencia un coeficiente de variación de ~20% entre los distintos deportistas. Estos datos sugieren una **imprecisión del control de la intensidad** del entrenamiento con sobrecargas mediante %1RM debido a que los deportistas difieren en el mismo ejercicio y en distintos ejercicios en el máximo número de repeticiones que pueden ejecutar para un determinado %1RM. Esto implica que realmente o ejecutan a distinta intensidad de esfuerzo, con distinto patrón de activación neural y metabolismo, y con diferencias del número de repeticiones que cabe ejecutar a la máxima velocidad, realizando en consecuencia un entrenamiento diferente. *Máximo número de repeticiones*. De acuerdo con otros autores (Bird *et al.*, 2005; González-Badillo y Gorostiaga, 2003; Hass *et al.*, 2001; Tan, 1999), en la mayoría de situaciones el control de la intensidad del entrenamiento con

sobrecargas mediante el **máximo número de repeticiones** (RM) tiene una **mayor precisión** y aplicación práctica. Este método se basa en determinar el peso que es capaz de superar un deportista en la ejecución de un determinado número de repeticiones. Por ejemplo, el peso con el que un deportista es capaz de realizar un máximo de 3RM, 8RM y 10RM. De esta forma, además de individualizar el peso en función de las características de cada deportista, se evita el margen de error asociado al máximo número de repeticiones que es posible hacer con los distintos %1RM, garantizando que realmente realizamos un entrenamiento en la intensidad relativa programada. Además, la determinación del peso mediante el número de repeticiones permite controlar la intensidad del entrenamiento sin necesidad de realizar ningún test de 1RM. La determinación del peso para hacer un número concreto de repeticiones en un determinado ejercicio requerirá cierto tiempo el primer día, dependiendo de la experiencia del entrenador y del deportista. En las sucesivas sesiones, si se desea trabajar con el mismo número de repeticiones, habrá que mantener el mismo peso establecido, modificándolo el propio deportista en función de si observa una variación del máximo número de repeticiones que es capaz de ejecutar. De esta forma, en el proceso de adaptación asociado al entrenamiento con sobrecargas el deportista incrementará el peso para seguir realizando el mismo número de repeticiones, pudiendo trabajar sobre el mismo objetivo de entrenamiento sin necesidad de hacer ningún test. El conocimiento del peso correspondiente a un determinado número de repeticiones sirve lógicamente de referencia para establecer el peso asociado a la ejecución de un número superior e inferior de repeticiones.

TABLA 3.11. Diferencias del máximo número de repeticiones ejecutadas a distinto %1RM en prensa de pecho y media sentadilla

	75% 1RM	70% 1RM	65% 1RM	60% 1RM
Prensa de pecho	17,3 ± 2	13,8 ± 2	11,4 ± 2	8,8 ± 2
Media sentadilla	21,5 ± 2	18,6 ± 2	14,2 ± 2	10,4 ± 1

Elaborado con datos de Izquierdo M et al. Int J Sports Med 2006a;27:718-24.

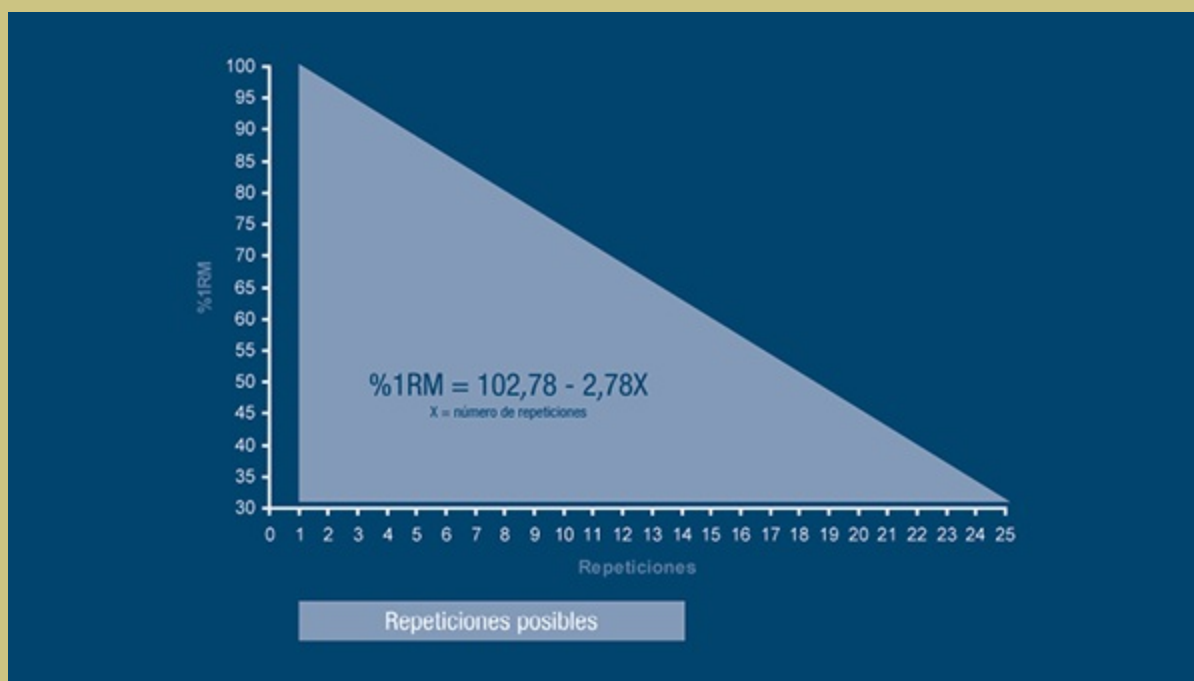


FIGURA 3.30. Relación entre el %1RM y el máximo número de repeticiones. El máximo número de repeticiones que pueden ser ejecutadas aumenta al disminuir el %1RM. Esta relación ha sido estudiada por diferentes autores (véase la tabla 3.22). En esta figura se muestra la ecuación establecida por Brzycki (1993) y su correspondiente representación gráfica. El máximo número de repeticiones a un determinado %1RM va a diferir entre ejercicios, deportistas y estatus de entrenamiento. Es interesante hacer notar que la relación establecida por el autor es lineal e inversamente proporcional. En efecto, una relación lineal tiene elevada validez para predecir el máximo número de repeticiones con intensidades relativamente elevadas. Sin embargo, al disminuir la intensidad relativa, hoy día se sabe que la relación es exponencial, aumentando en mayor medida el máximo número de repeticiones posibles respecto a la disminución de la intensidad. Así, el máximo número de repeticiones que es posible ejecutar a intensidades medias y bajas es superior al establecido en esta relación.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

El control de la intensidad del entrenamiento con sobrecargas mediante el número de repeticiones es especialmente útil cuando el objetivo es realizar el máximo número de repeticiones posibles, por ejemplo, cuando a una intensidad correspondiente a 5RM se requiere ejecutar las 5 repeticiones posibles, lo que implica ejecutar el ejercicio hasta el fallo muscular.

Sin embargo, como justificaremos posteriormente, es habitual en la programación del entrenamiento con sobrecargas ejecutar para una determinada intensidad un número de repeticiones inferior al máximo número

de repeticiones posibles. Esto no supone un especial problema cuando el máximo número de repeticiones que es posible ejecutar no es muy elevado debido a que nunca pueden ser muchas las repeticiones que no se ejecutan. Por ejemplo, en la ejecución de 3 repeticiones a una intensidad correspondiente a 5RM resulta factible conocer el peso con el que se puede hacer 5RM, realizando únicamente las 3 repeticiones programadas. Incluso un deportista con un mínimo de experiencia en el entrenamiento con sobrecargas es capaz de determinar mediante sus sensaciones el número de repeticiones que todavía podría haber hecho con un peso determinado. En este caso, en el ejemplo expuesto, el deportista puede incrementar en el proceso de entrenamiento el peso con el que ejecuta 3 repeticiones si observa subjetivamente que podría haber realizado, además, un número superior a 2 repeticiones.

El **principal inconveniente** para el control del entrenamiento con sobrecargas mediante el número de repeticiones está asociado a la **ejecución de intensidades relativamente bajas**. Como se justifica posteriormente, es habitual, por ejemplo, ejecutar un máximo de 5-8 repeticiones para una intensidad de 12 a 26RM. En este caso es más complicada la determinación exacta del peso correspondiente a estas intensidades y, además, la sensación subjetiva del deportista no permite discriminar, sin un elevado margen de error, el alto número de repeticiones que no ha ejecutado. Así, si realmente estamos interesados en trabajar a una determinada intensidad, únicamente la determinación de 1RM nos permite conocer con un cierto grado de precisión el peso que debemos superar durante la ejecución de pocas repeticiones a una intensidad relativamente baja. Por ejemplo, para ejecutar una intensidad de 20RM, que equivale según la ecuación de Brzycki (1993) a $\sim 47,2\%$ 1RM, un deportista con un valor de 1RM de 120 kg ejecutará el número de repeticiones establecidas con un peso de 57 kg. Si se opta por este método para controlar en estas situaciones la intensidad del entrenamiento, habrá que considerar que, como habitualmente habremos trabajado previamente con cargas muy elevadas para el mismo ejercicio, podremos deducir el valor de 1RM del deportista de forma indirecta, sin necesidad de determinar directamente la carga correspondiente a 1RM. Mediante la relación entre los $\%1RM$ y el número de repeticiones, numerosos autores han establecido ecuaciones que permiten determinar con un grado de precisión aceptable el valor de 1RM conociendo el peso con el que se puede realizar un determinado número de repeticiones hasta el fallo muscular. A este respecto,

se utiliza habitualmente la ecuación establecida por Brzycki (1993): $1RM = \text{peso levantado} / (1,0278 - [0,0278 \times N^{\circ} \text{ rep}])$. Aplicando esta ecuación, el valor de 1RM de un deportista que es capaz en un ejercicio de ejecutar 5RM con 100 kg es 113 kg.

Independientemente de las **soluciones** indicadas, probablemente para el desarrollo de la fuerza explosiva no es necesario conocer la intensidad exacta de entrenamiento.

Como se representa en la figura 3.31, una vez que se conoce el peso que corresponde a la ejecución de una **intensidad relativa elevada**, por ejemplo mediante el **cálculo directo o indirecto de 1RM** o mediante el **máximo número de repeticiones**, un ciclo habitual de entrenamiento con sobrecargas implica la **disminución progresiva de la intensidad** con el fin de transferir de una manera gradual los beneficios de cargas más elevadas a las necesidades específicas de fuerza de las acciones motrices de competición. En este caso, lo importante es **disminuir progresivamente el peso** respecto a los niveles previos de trabajo, lo que nos garantiza una disminución de la intensidad relativa y un acercamiento progresivo al reclutamiento de unidades motrices, frecuencia de estimulación, reutilización de la energía elástica y activación de las fibras musculares que se requieren en competición. Entonces, quizá lo menos importante sea conocer el porcentaje exacto de trabajo en cada ejercicio, ya que nuestro objetivo de entrenamiento lleva implícito el trabajo con todos los niveles de carga en progresión descendente.

Otro aspecto de interés es que los ejercicios habitualmente ejecutados para el desarrollo de la fuerza explosiva con una **intensidad relativamente baja** son diferentes a los utilizados a intensidades más elevadas. Esto determina un nuevo aspecto que dificulta el control de la intensidad en el entrenamiento con sobrecargas. En este caso, además de no conocer el peso correspondiente a intensidades más elevadas, estos ejercicios se caracterizan por la dificultad de determinar el valor de 1RM y de ejecutar un número de repeticiones próximo al fallo muscular. Éste es el caso de los **ejercicios balísticos** como los saltos con sobrecargas y la prensa de pecho lanzada, y de otros **ejercicios más específicos** como subida al banco y *split*.

Para estos ejercicios, la asignación del peso puede realizarse utilizando el **peso correspondiente a la máxima potencia mecánica** o en su defecto mediante los **porcentajes asociados al peso corporal o a otros ejercicios**. Es de interés la relación establecida recientemente entre el peso levantado en 6RM en sentadilla y los valores de 6RM para ejercicios como subida al banco

y *split* (Ebben *et al.*, 2008): 6RM *split* = 6RM sentadilla (0,52) + 14,82 kg, 6RM subida al banco = 6RM sentadilla (0,50) + 3,32. Aunque estas ecuaciones fueron determinadas en sujetos con poca experiencia en el entrenamiento con sobrecargas, probablemente pueden servir de orientación para establecer la intensidad relativa de carga en estos ejercicios, en los que es difícil la individualización del entrenamiento mediante otros métodos.

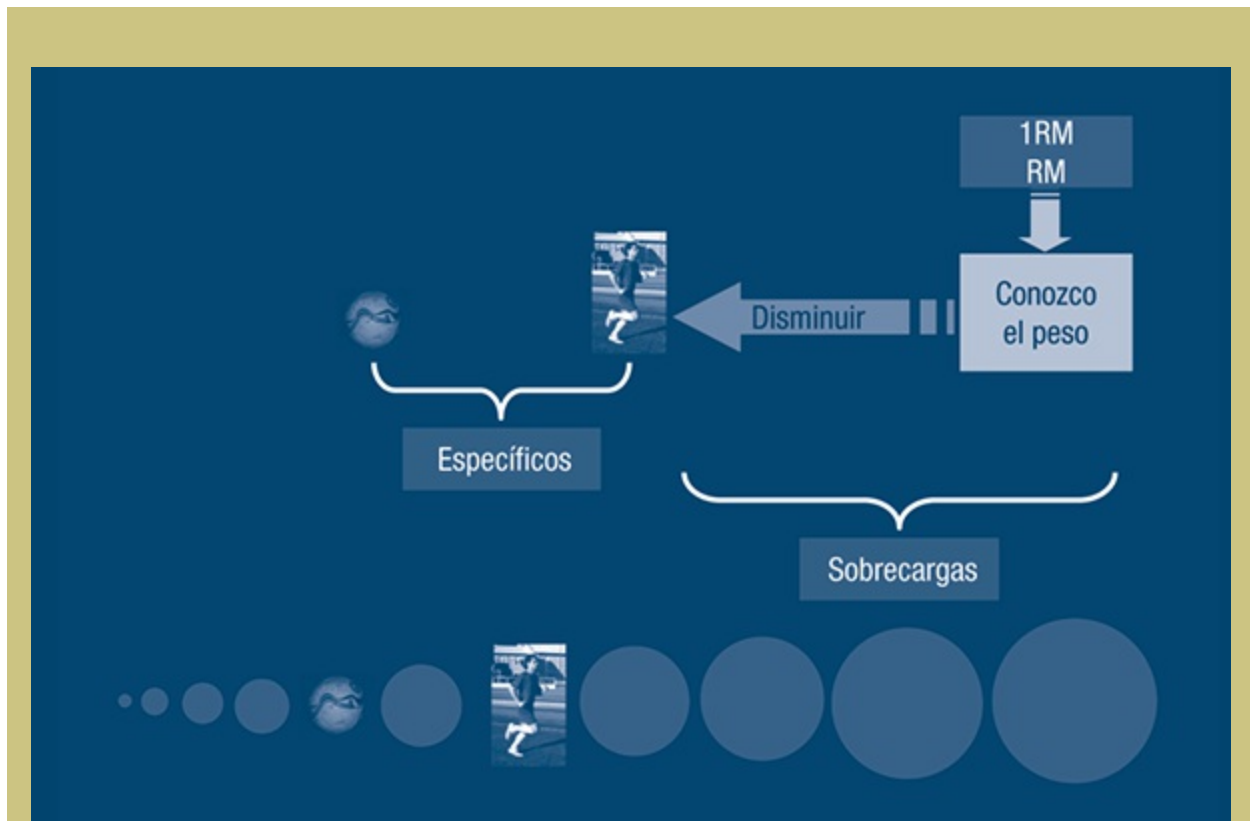


FIGURA 3.31. Metodología para controlar el peso asignado a determinados ejercicios en un ciclo de entrenamiento con sobrecargas. Un ciclo de entrenamiento para optimizar el rendimiento de fuerza explosiva en una determinada acción motriz específica debe considerar durante la ejecución de ejercicios con sobrecargas la disminución progresiva de la intensidad relativa para aproximar la magnitud de carga a la requerida en competición. Como muestra la figura, es fácil establecer mediante el máximo número de repeticiones posibles o mediante la determinación directa o indirecta de 1RM la carga que debe ser superada a intensidades relativamente elevadas. Obsérvese que, independientemente de utilizar otras metodologías para controlar la intensidad relativa con cargas más bajas, puede ser suficiente, una vez conocida la carga correspondiente a una intensidad elevada, ir disminuyendo su magnitud conforme avanza el ciclo de entrenamiento para aproximarnos progresivamente a la carga requerida en competición.

Original de los autores con permiso del deportista.

Porcentaje de la potencia máxima. El desarrollo tecnológico permite determinar la potencia desarrollada en la ejecución de los ejercicios con sobrecargas. Debido a que el desarrollo de la máxima potencia mecánica alcanzada en la ejecución de un ejercicio está asociado a la optimización de la fuerza explosiva de las acciones motrices específicas, la valoración del **peso correspondiente a la máxima potencia** para cada deportista constituye, probablemente en algunos ejercicios, la metodología más apropiada para controlar la intensidad del entrenamiento. La determinación de la máxima potencia es especialmente relevante en los **ejercicios más relacionados con los gestos motores específicos**, media sentadilla, saltos con sobrecargas y prensa de pecho lanzada. De esta forma, además, es posible controlar de forma precisa la intensidad de entrenamiento en ejercicios en los que, como previamente se ha especificado, es complicado aplicar otras metodologías. Como el objetivo de la ejecución de estos ejercicios es la aproximación a los patrones de fuerza de las acciones motrices específicas, habitualmente la carga de entrenamiento no es muy elevada. Además, la potencia máxima se observa a una intensidad relativamente baja. En consecuencia, si conocemos el peso correspondiente a la potencia máxima, además de incidir en esta intensidad de trabajo, podremos controlar la intensidad de entrenamiento de estos ejercicios mediante la **disminución progresiva del peso** en el proceso de entrenamiento para así aproximarnos en mayor medida a la relación fuerza/tiempo de las acciones de competición.

Intensidad óptima para el desarrollo de fuerza explosiva

Tradicionalmente, los objetivos del entrenamiento con sobrecargas se han asociado a distintos intervalos de intensidad (figura 3.32).

La intensidad de 1-6RM (~100-85% 1RM) para el desarrollo de fuerza máxima. La **intensidad de 1-6RM** (~100-85% 1RM) se ha asociado tradicionalmente con el **desarrollo de fuerza máxima**, objetivable como una **mejora de los valores de 1RM** debido a la incidencia específica sobre los factores neurales. Las cargas más elevadas parecen fundamentales para el desarrollo de la fuerza porque están asociadas con el **máximo reclutamiento de unidades motrices** y con **elevadas frecuencias de estimulación** (Kraemer y Ratamess, 2004; Behm, 1995). Especialmente estas cargas son útiles para reclutar las unidades motrices con mayor umbral de excitación (Ploutz *et al.*, 1994). Häkkinen *et al.*, (1985) describieron que son necesarias

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

cargas superiores al 80-85% 1RM para producir adaptaciones neurales en atletas con mucha experiencia. Por consiguiente, si nuestro objetivo es incrementar en sujetos experimentados su nivel de fuerza y potencia ante cargas elevadas, es necesario reclutar el máximo número de unidades motrices, y parece demostrado que únicamente con cargas muy elevadas se consigue reclutar las unidades motrices con mayor umbral.

La concepción de que para el desarrollo de la fuerza máxima es necesario trabajar con una intensidad relativa de 1-6RM establece un entrenamiento idéntico para todos los deportistas y modalidades deportivas, obviando aspectos determinantes como la reserva actual del deportista en relación con el desarrollo de la fuerza y la magnitud de la resistencia que debe ser superada en competición. Actualmente se sabe que la **máxima intensidad óptima** para el desarrollo de la fuerza máxima depende de la **reserva actual** de los deportistas y de la **magnitud de carga requerida en competición**. Probablemente, el mejor ejemplo lo aportan Peterson *et al.*, (2005) (figura 3.33), quienes a partir de datos de dos estudios (Peterson *et al.*, 2004; Rhea *et al.*, 2003), en los que utilizaron la técnica del metaanálisis (la técnica de investigación del metaanálisis utiliza un proceso en el cual los efectos del tratamiento de varios estudios pueden ser combinados estadísticamente y evaluados) mostraron que, respectivamente, para sujetos previamente no entrenados, moderadamente entrenados y atletas, la intensidad que produce mayor incremento de fuerza es el 60%, 80% y 85% 1RM. Estos datos sugieren nuevamente que el efecto del entrenamiento sea dependiente de la reserva actual del deportista, y, en consecuencia, se debe programar el entrenamiento considerando la carga mínima que produce la adaptación deseada.

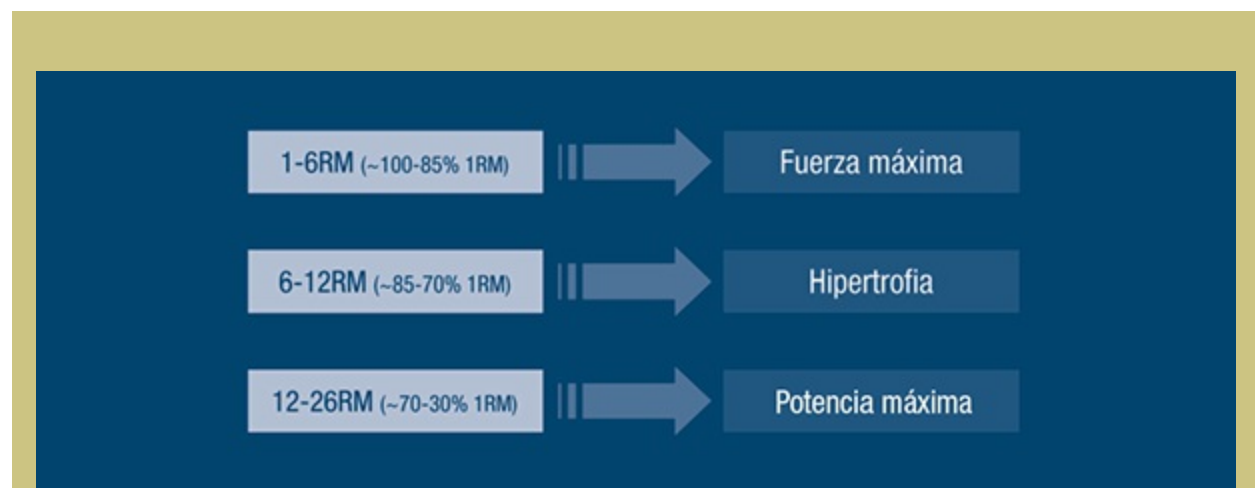


FIGURA 3.32. Asociación tradicional entre la intensidad y los objetivos del entrenamiento con sobrecargas. Los objetivos tradicionales asociados a la intensidad del entrenamiento con sobrecargas están determinados por la relación ya especificada que existe entre carga y fuerza, velocidad, potencia y máximo número de repeticiones posibles. Así, una intensidad relativa muy elevada (85-100% 1RM) se asocia al objetivo de mejorar el potencial de fuerza del deportista, considerando que esta magnitud de carga permite desarrollar la máxima fuerza; una intensidad relativa elevada (70-85%) se asocia al objetivo de mejorar la hipertrofia muscular, considerando la mejor combinación de magnitud de carga y número de repeticiones posibles, y una intensidad relativa media y baja (30-70% 1RM) se asocia al objetivo de mejorar la potencia máxima, considerando la mejor relación entre la fuerza que puede ser desarrollada y la velocidad de ejecución.

Original de los autores.

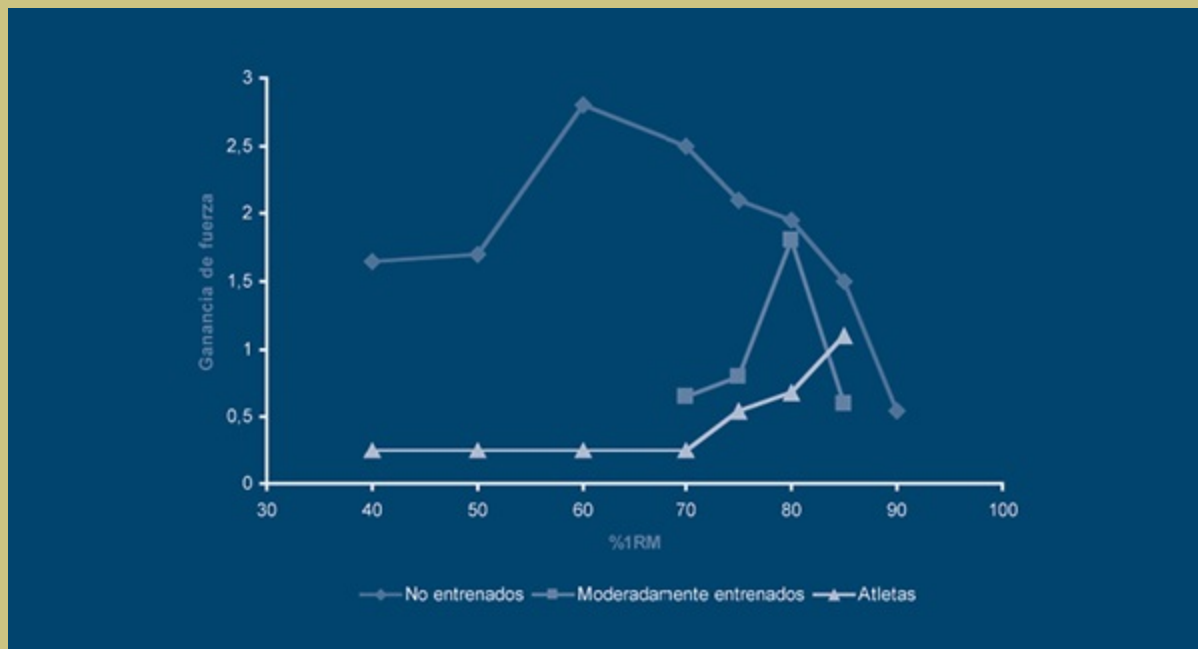


FIGURA 3.33. Intensidad óptima para el desarrollo de la fuerza en función del nivel de entrenamiento previo de los deportistas. Para desarrollar el máximo potencial de fuerza, la intensidad óptima difiere en función de la reserva actual de los sujetos de la establecida tradicionalmente. La intensidad óptima disminuye significativamente conforme se reduce el nivel de entrenamiento previo de los deportistas. El incremento de fuerza es menor cuanto mayor es el nivel de los deportistas. Estos datos son importantes para establecer la máxima intensidad relativa de trabajo en la mayoría de las modalidades deportivas caracterizadas porque sus deportistas no tienen una experiencia muy elevada en el trabajo con sobrecargas.

Adaptado de Peterson MD et al. J Strength Cond Res 2005;19:950-8.

Este análisis sugiere que para mejorar la fuerza aplicada ante una carga

máxima se requiere en **sujetos muy entrenados** trabajar con cargas muy elevadas (**>85% 1RM**). Sin embargo, la mayoría de los deportes pueden considerarse modalidades “no puras de fuerza”. En estos deportes, habitualmente la magnitud de resistencia que hay que superar en las acciones motrices específicas es relativamente baja y los deportistas no tienen una reserva actual asociada al desarrollo de la fuerza muy elevada. En consecuencia, para la **mayoría de modalidades deportivas** probablemente la máxima intensidad óptima de trabajo en el entrenamiento con sobrecargas corresponde a la intensidad relativa de **6-12RM (~85-90% 1RM)**. Hay que considerar que el objeto final del entrenamiento con sobrecargas es mejorar la fuerza aplicada en las acciones motrices específicas y no la mejora de la fuerza aplicada ante la carga máxima. Este aspecto indica en mayor medida que probablemente trabajar con una intensidad de 1-6RM puede ser excesivo e inadecuado para una óptima transferencia de la fuerza obtenida a las necesidades reales de la manifestación de fuerza de la mayoría de las modalidades deportivas (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Es deducible, como se representa en la figura 3.34, que el máximo nivel de intensidad de carga óptima pueda ser dependiente de la **magnitud de la resistencia a superar en competición**. No parece, desde una perspectiva teórica, que la intensidad relativa de carga deba ser la misma para sujetos que requieren manifestar fuerza explosiva ante una magnitud de resistencia tan diferente como puede ser un halterófilo, un luchador, un lanzador de peso, un lanzador de jabalina o un tenista. Hay que considerar además, como se analiza posteriormente, que con una intensidad inferior a 1-6RM es posible desarrollar, con una combinación óptima de los componentes del entrenamiento, los factores neurales asociados a la fuerza.

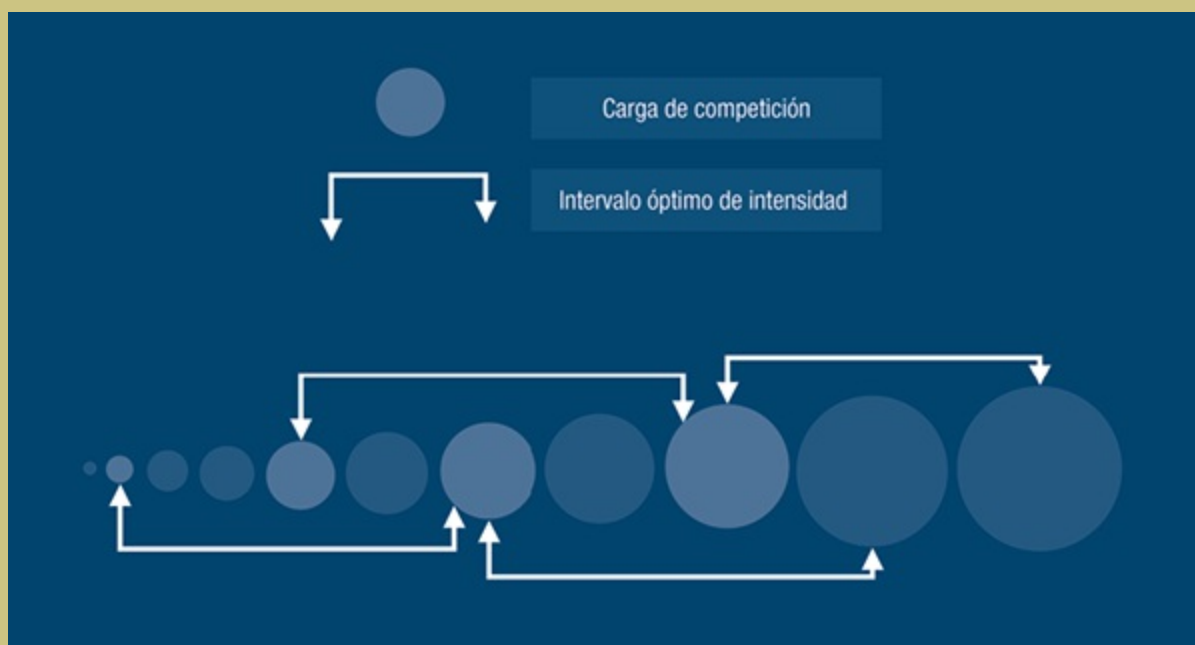


FIGURA 3.34. Esquema teórico del intervalo óptimo de intensidad para el desarrollo de la fuerza explosiva con sobrecargas en función de la magnitud de carga de competición. Si la magnitud de la carga de competición es relativamente elevada, únicamente mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas a una intensidad elevada es posible desarrollar niveles superiores de fuerza. Obsérvese en esta figura que es obvio que un mismo porcentaje de incremento de fuerza manifestada en un ejercicio con sobrecargas respecto a la fuerza requerida en competición se consigue a una intensidad relativa menor conforme disminuye la magnitud de la carga de competición. Así pues, la máxima intensidad recomendable en el entrenamiento con sobrecargas depende, además de la reserva actual de los deportistas, de la magnitud de la carga de competición.

Original de los autores.

La intensidad de 6-12RM (~85-70% 1RM) para el desarrollo de hipertrofia. Según la recopilación de estudios realizada por Fry (2004), se representa en la figura 3.35 la relación entre la intensidad relativa de esfuerzo y el grado esperado de hipertrofia muscular. Este modelo justifica la concepción tradicional de que una **intensidad de 6-12RM** (~85-70% 1RM) es la que induce el mayor **desarrollo de hipertrofia muscular**. De hecho, la metodología tradicional del entrenamiento con sobrecargas establece esta zona de trabajo con el objetivo casi exclusivo de desarrollar la hipertrofia de los deportistas.

Aunque la **hipertrofia muscular** puede considerarse un proceso multifactorial, la intensidad y el volumen de entrenamiento se consideran los

factores más determinantes (Kraemer *et al.*, 2004). El trabajo con **cargas elevadas** resulta esencial para remodelar el tejido muscular, la degradación y la síntesis de proteínas, al estimular los factores de crecimiento del músculo (Fowles *et al.*, 2000). Una carga muy elevada fomenta el crecimiento del músculo al inducir un mayor catabolismo del tejido muscular, estimulando la posterior remodelación de dicho tejido a partir de un incremento de la síntesis de proteínas. Pero además, el daño muscular parece estar asociado también al volumen de entrenamiento. Así, el **tiempo en que el músculo está bajo tensión** también se asocia al incremento de hipertrofia muscular (Kraemer *et al.*, 2002). Desde esta perspectiva, el grado esperado de hipertrofia muscular no es muy elevado cuando se trabaja con una intensidad relativa alta ($> 85\%$ 1RM) debido a que el número de repeticiones y, en consecuencia, el tiempo de trabajo es relativamente bajo. Con una intensidad relativa baja ($< 70\%$ 1RM) es posible realizar un mayor número de repeticiones; sin embargo, debido a la magnitud de la carga este tipo de entrenamiento no produce un incremento sustancial de la hipertrofia muscular (Kraemer *et al.*, 2002). Así, para una intensidad relativamente elevada, del **70-85% 1RM**, con la que es posible ejecutar de 12 a 6 repeticiones, se evidencia la **mejor combinación de intensidad y volumen** de entrenamiento conducente a una mayor degradación y síntesis de proteínas (Kraemer y Ratamess, 2004; Smith y Rutherford, 1995).

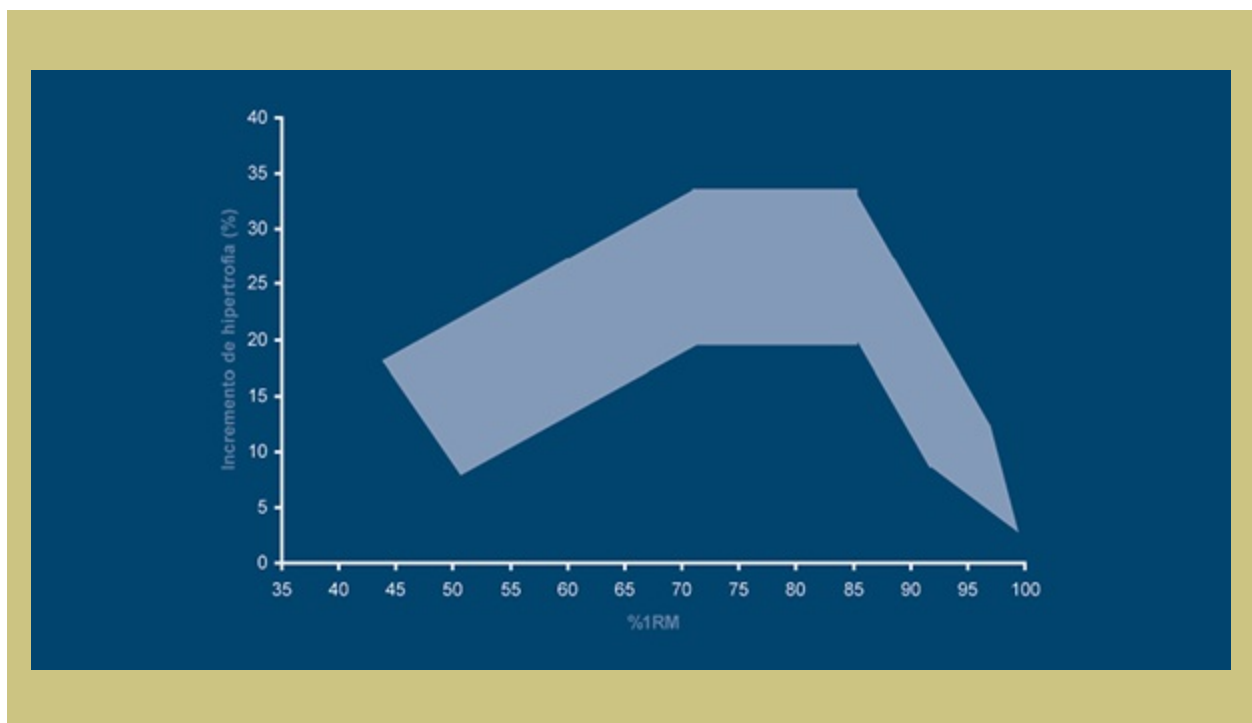


FIGURA 3.35. Modelo teórico de la relación entre la intensidad relativa de entrenamiento y el grado esperado de hipertrofia muscular. El incremento esperado de hipertrofia muscular con el entrenamiento de fuerza es proporcional a la intensidad relativa de carga hasta un porcentaje del 70-85% 1RM. Este intervalo de intensidad se considera tradicionalmente el óptimo para el desarrollo de la hipertrofia muscular, ya que permite ejecutar un relativo elevado número de repeticiones con una magnitud de carga alta. Considérese también la elevada variación que existe en el grado esperado de hipertrofia muscular para una misma intensidad relativa de carga, por ejemplo, por diferencias en el estado inicial de entrenamiento de los sujetos. Véase con la ayuda del texto que el grado óptimo de hipertrofia muscular deseado para optimizar el rendimiento de fuerza explosiva en una acción motriz específica no siempre implica aplicar el entrenamiento que permite el máximo incremento de hipertrofia.

Adaptado de Fry AC. Sports Med 2004;34:663-79.

Aunque existe acuerdo en que la zona de intensidad de 6-12RM es la que induce el mayor grado de hipertrofia muscular, es necesario hacer algunas consideraciones. La mayoría de los estudios que han determinado los efectos de un programa de entrenamiento sobre la hipertrofia muscular se caracterizan por utilizar una intensidad relativa de entrenamiento comprendida entre el 70% y el 90% 1RM, siendo escasos los estudios que plantean una intensidad inferior o superior (véase la figura 3.15). Además, en el trabajo de revisión realizado por Fry (2004), un análisis detallado demuestra que un 65% y un 82%, respectivamente, de la variabilidad de hipertrofia de las fibras tipo II y tipo I se debe a otros factores no asociados a la intensidad relativa de carga (figura 3.15). Recordemos que estos datos provienen de diferentes estudios en los que la única variable controlada es la intensidad del esfuerzo, por lo que otros factores asociados a los componentes del entrenamiento (p. ej., número de series, descanso, tipo de ejercicio, número de repeticiones, velocidad de ejecución) y al nivel de entrenamiento previo de los sujetos han podido determinar un efecto diferencial en el grado de hipertrofia observado en los distintos tipos de fibras musculares. A este respecto, hay que considerar, como se especifica posteriormente, que el número y la velocidad de ejecución de las repeticiones pueden ser factores determinantes de la hipertrofia selectiva de las fibras tipo I y tipo II, y de la transformación de fibras. El efecto diferencial del tipo de entrenamiento sobre la hipertrofia muscular debe considerarse determinante debido a que el objetivo final de trabajo no es el máximo desarrollo de la masa muscular, sino su aprovechamiento para la aplicación de un nivel de fuerza superior en las acciones motrices de competición. La velocidad de ejecución de las repeticiones y el número de repeticiones ejecutadas son

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

factores que determinan que la **intensidad de 6-12RM** sea una zona de trabajo óptima para el **desarrollo de los factores neurales** asociados a la fuerza máxima.

La intensidad de 12-26RM (~70-30% 1RM) para el desarrollo de la potencia máxima. La potencia mecánica está directamente asociada a la fuerza manifestada y a la velocidad de desplazamiento de la carga. Cuando la intensidad relativa es elevada ($> 70\%$ 1RM), es posible manifestar altos niveles de fuerza asociados a una velocidad baja de desplazamiento de la carga. En cambio, cuando la intensidad relativa es baja ($< 30\%$ 1RM), se consigue una velocidad de desplazamiento elevada manifestando niveles relativamente bajos de fuerza. La baja velocidad de desplazamiento asociada a una intensidad relativa elevada y los bajos niveles de fuerza manifestados asociados a una intensidad relativa baja comprometen el desarrollo de una potencia mecánica elevada. A una **intensidad de 12-26RM** (~70-30% 1RM) se evidencia la mejor combinación entre la fuerza manifestada y la velocidad de desplazamiento de la resistencia, determinando el **desarrollo de la potencia máxima** en cada ejercicio (McBride *et al.*, 2002).

Se ha sugerido que las cargas de entrenamiento que utilizan la potencia mecánica máxima son óptimas para mejorar el rendimiento de acciones motrices que requieren la máxima velocidad de ejecución (Izquierdo *et al.*, 2006a; Wilson *et al.*, 1993). Por este motivo, uno de los objetivos del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva es incidir en la intensidad asociada a la máxima potencia mecánica. En la mayoría de los ejercicios la potencia máxima se obtiene a una intensidad relativa del 30-70% 1RM (Izquierdo *et al.*, 2002). Sin embargo, la **intensidad asociada a la potencia máxima** no es consistente en la literatura científica (Kawamori y Haff, 2004). Así, la intensidad relativa en la que se obtiene la potencia máxima difiere en función del **tipo de ejercicio**, el **nivel de los deportistas**, la **modalidad deportiva** y el **momento de la temporada** (Izquierdo *et al.*, 2002; Siegel *et al.*, 2002; Baker *et al.*, 2001).

Para un determinado ejercicio se ha sido descrito que los sujetos más fuertes obtienen su máxima potencia a un mayor %1RM que los sujetos más débiles debido a que están acostumbrados a manifestar una velocidad de ejecución alta con cargas elevadas (Stone *et al.*, 2003). Las características de la técnica de cada ejercicio es determinante de la intensidad en la que se manifiesta la máxima potencia. Así, la ejecución del ejercicio de prensa de pecho permite a una intensidad relativa muy elevada desplazar mucho peso a

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

una velocidad de ejecución muy lenta. Por este motivo, la potencia máxima en el ejercicio de **prensa de pecho** está asociada a una intensidad relativamente baja (**30-45% 1RM**) en relación con la intensidad en que se obtiene la potencia máxima en la ejecución de una **media sentadilla** (**45-60% 1RM**) (Izquierdo *et al.*, 2002).

Debido a las diferentes características de la velocidad de ejecución, la potencia máxima en los levantamientos con **técnica balística** se ha descrito habitualmente a un porcentaje inferior (**~30-40% 1RM**) tanto para ejercicios de las extremidades superiores como de las inferiores (Harris *et al.*, 2007; Thomas *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 1993). Mientras que en un ejercicio como la prensa de pecho es posible superar con éxito pesos muy elevados desarrollando una velocidad de ejecución muy lenta, las características de ejecución técnica de los ejercicios olímpicos determinan que la máxima carga que es posible superar está asociada a la aplicación de una elevada velocidad de ejecución. Por este motivo, la potencia máxima en los **ejercicios olímpicos** se evidencia a una intensidad relativa muy elevada, **~80% 1RM** (González-Badillo, 2000). Desde esta perspectiva, hay que aplicar una intensidad diferente para cada ejercicio y cada atleta para desarrollar el mismo objetivo. La determinación en cada atleta de la potencia máxima en los ejercicios principales es la forma más precisa de controlar este parámetro en el proceso del entrenamiento con sobrecargas (véase el apartado 6.2).

Intensidad óptima en función del tipo de ejercicio

En la figura 3.36 se representa un modelo teórico de la intensidad óptima de entrenamiento en función del tipo de ejercicio en un ciclo de entrenamiento con sobrecargas.

Este modelo debe considerarse una concepción teórica que hay que adaptar a cada situación particular de entrenamiento. Así, previamente se ha justificado que la **intensidad óptima de entrenamiento** y los ejercicios realizados dependen de las distintas modalidades deportivas y del nivel previo de entrenamiento de los deportistas. Este modelo representa que la intensidad relativa más elevada debe aplicarse en los **ejercicios básicos** o generales (p. ej., sentadilla y prensa de pecho). Aunque para estos ejercicios se establece una intensidad óptima de trabajo del **70-100% 1RM**, recordemos que para la mayoría de las modalidades deportivas la máxima intensidad recomendable es inferior al 85% 1RM. Estos ejercicios e intensidades deben

preceder a los **ejercicios asociados al desarrollo de la potencia máxima** (p. ej., ejercicios olímpicos, media sentadilla y prensa de pecho).

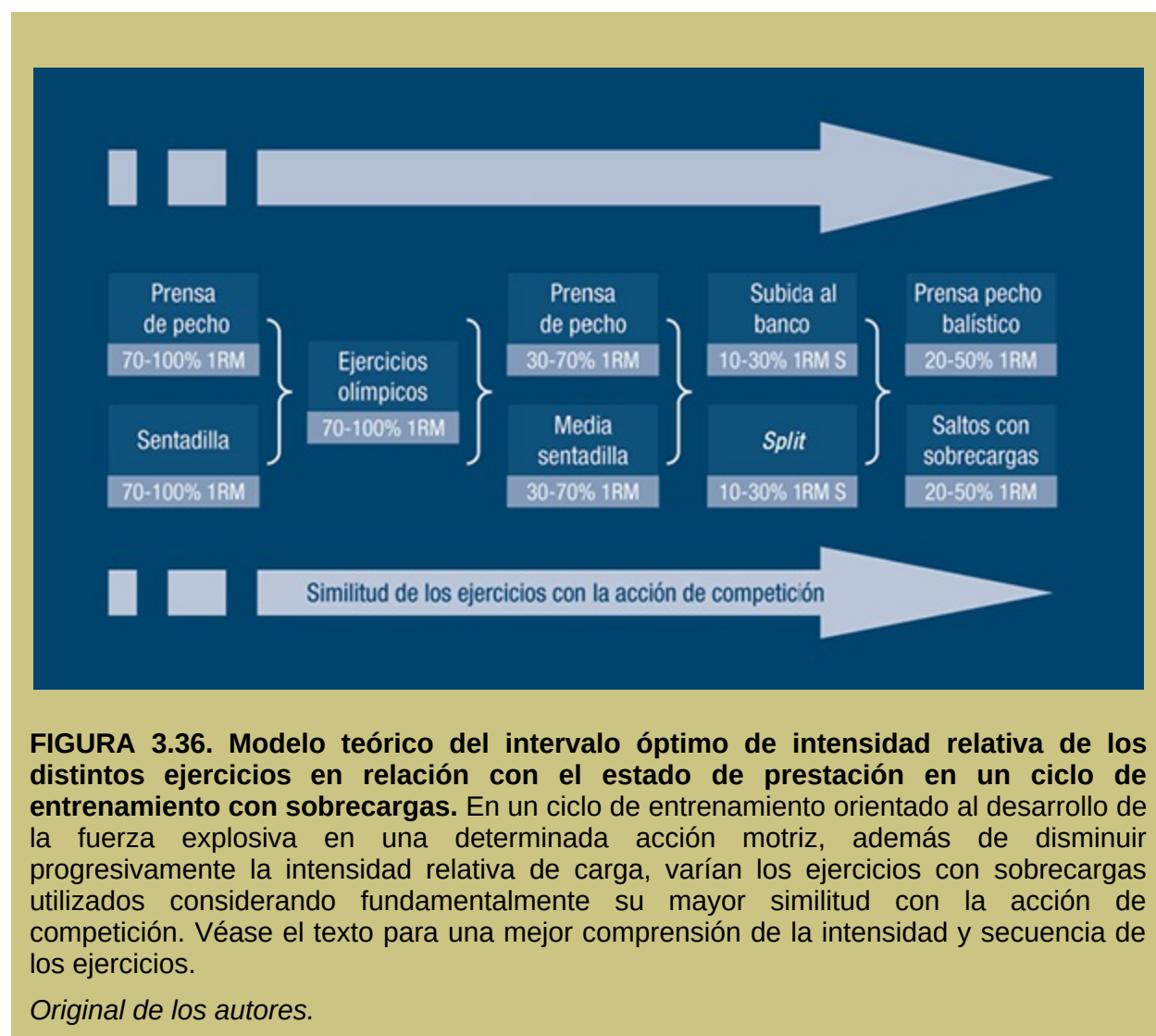


FIGURA 3.36. Modelo teórico del intervalo óptimo de intensidad relativa de los distintos ejercicios en relación con el estado de prestación en un ciclo de entrenamiento con sobrecargas. En un ciclo de entrenamiento orientado al desarrollo de la fuerza explosiva en una determinada acción motriz, además de disminuir progresivamente la intensidad relativa de carga, varían los ejercicios con sobrecargas utilizados considerando fundamentalmente su mayor similitud con la acción de competición. Véase el texto para una mejor comprensión de la intensidad y secuencia de los ejercicios.

Original de los autores.

Las diferencias de intensidad establecidas en estos ejercicios en la figura 3.36 están justificadas por la variación de **intensidad con la que se obtiene la potencia máxima**. Sucesivamente se incide en el trabajo con **ejercicios específicos** que simulan en mayor medida el gesto motor de competición en numerosas modalidades deportivas (p. ej., *split* y subida al banco). La especificidad de estos ejercicios y sus características de ejecución técnica determinan que la intensidad relativa de trabajo deba ser relativamente baja, **10-30% 1RM sentadilla**. En este ejemplo se ha establecido la intensidad para estos ejercicios en relación con el valor de 1RM del ejercicio de

sentadilla, pudiéndose aplicar otros métodos descritos previamente. Después de desarrollar la máxima potencia con los ejercicios tradicionales, se establece el trabajo de este objetivo con **ejercicios balísticos**, que se asemejan en mayor medida a las características de las acciones motrices de competición. La intensidad de trabajo óptima se establece en un **20-50% 1RM del ejercicio básico** y está justificada para desarrollar la máxima potencia y para aproximar las características de la relación fuerza/tiempo a la específica de competición.

Aunque estos ejercicios pueden ejecutarse simultáneamente durante un **ciclo de entrenamiento con sobrecargas**, el orden establecido puede servir de orientación de la prioridad de ejercicios en función del momento en que se pretende alcanzar un estado óptimo de prestación.

Globalmente se puede establecer que, aunque la intensidad del entrenamiento con sobrecargas se ha asociado a distintos objetivos de trabajo, el **intervalo óptimo de trabajo** depende de la **modalidad deportiva**, de la **experiencia de los deportistas** y de los **ejercicios utilizados**.

Velocidad de ejecución de las repeticiones

El principio de especificidad del entrenamiento determina que la mejora del rendimiento está asociada con la ejecución de ejercicios con un patrón de movimiento similar al de competición. Por ejemplo, para mejorar la máxima velocidad de desplazamiento corriendo, es coherente que en el entrenamiento se ejecuten las distintas repeticiones de desplazamiento a la velocidad máxima. Tradicionalmente, esta coherencia no se ha trasladado al entrenamiento con sobrecargas. De hecho, la **velocidad de ejecución de las repeticiones** es probablemente el componente del entrenamiento con sobrecargas más olvidado en la propuesta de programas de entrenamiento y en la investigación aplicada. En diversos trabajos publicados en las revistas más prestigiosas, las recomendaciones sugeridas respecto a la velocidad de ejecución de las repeticiones son contradictorias y confusas. Por ejemplo, para una intensidad de 1-6RM: 1-1-1 seg (respectivamente para la fase excéntrica, el período de transición excéntrico-concéntrico y la fase concéntrica) (Bird *et al.*, 2005), ejecución lenta y rápida (Kraemer y Ratamess, 2004). Para una intensidad de 6-12RM: 2-1-2 seg (Bird *et al.*, 2005), ejecución lenta, moderada y rápida (Kraemer y Ratamess, 2004). Los autores coinciden en que para una intensidad de 12-26RM las repeticiones

deben hacerse a la máxima velocidad (Bird *et al.*, 2005; Kraemer y Ratamess, 2004).

Probablemente, la velocidad de ejecución de las repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas sea una de las variables más determinantes del grado de transferencia de la fuerza obtenida a las acciones motrices de competición. Por este motivo, si nuestro objetivo es el **desarrollo de la fuerza explosiva**, al menos desde una perspectiva teórica la ejecución de la fase concéntrica de cada una de las repeticiones debe realizarse a la máxima velocidad posible. A este respecto, es posible que uno de los orígenes asociados a la información contradictoria observada en la bibliografía respecto a la velocidad de ejecución de las repeticiones sea la confusión entre la velocidad externa y la interna del movimiento. Lógicamente, cuando la intensidad de la carga es elevada, la velocidad externa de movimiento es lenta. Sin embargo, si el deportista realiza la máxima velocidad posible, solicita al máximo la frecuencia de estimulación y el reclutamiento de unidades motrices.

En este sentido, lo importante es que el deportista realice el movimiento a la **máxima velocidad voluntaria posible para cada magnitud de carga** (Munn *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 1999; Behm y Sale, 1993). Así, un entrenamiento realizado a una velocidad inferior a la máxima posible induce, además de una manifestación de fuerza menor, un menor reclutamiento y frecuencia de estimulación de unidades motrices, el reclutamiento de fibras más lentas y una menor reutilización de la energía elástica (Keogh *et al.*, 1999). Esto probablemente determina un incremento de fuerza si se dispone del tiempo suficiente para manifestarla, alejándose de la relación fuerza/tiempo óptima para la transferencia de la fuerza a los movimientos ejecutados a la máxima velocidad en competición.

De especial importancia es que la **velocidad de ejecución** de las repeticiones pueda estar asociada con la **hipertrofia selectiva de fibras** y con la **transformación del tipo de fibra**. En este sentido, es interesante el análisis de los resultados aportados en el trabajo de Fry (2004). Como se observa en la figura 3.37, los deportistas de halterofilia y *powerlifting* se caracterizan por disponer de un mayor porcentaje de fibras tipo II que los fisicoculturistas. Mediante este análisis no podemos indicar si estas diferencias se deben a un efecto diferencial de adaptación inducido por las características del entrenamiento realizado o a una predisposición genética que determina la selección de los deportistas para los distintos tipos de

modalidades deportivas. Las diferencias de la *ratio* del área de las fibras tipo II y tipo I se ha sugerido como un valor diferencial que determina las adaptaciones inducidas por el entrenamiento. Las diferencias observadas en la *ratio* del área de las fibras tipo II/tipo I en los deportistas de halterofilia (1,54), *powerlifting* (1,42) y fisicoculturistas (1,19) (figura 3.38) sugieren una hipertrofia diferencial del tipo de fibra en función del entrenamiento realizado, con un mayor desarrollo de las fibras tipo II en los deportistas de halterofilia y *powerlifting*, un incremento equiparable del área de las fibras tipo II y tipo I en los culturistas (Fry, 2004).

Puesto que los deportistas de halterofilia y *powerlifting* requieren en competición levantar el máximo peso posible en una única repetición, es habitual que realicen entrenamientos a una intensidad relativa >85% 1RM. La mayor hipertrofia de fibras tipo II evidenciada en los halterófilos puede asociarse a la velocidad de ejecución y a la potencia desarrollada debido a que ambas variables son significativamente superiores durante la ejecución de los ejercicios de halterofilia (arrancada y cargada) que en los ejercicios de competición de *powerlifting* (sentadilla, prensa de pecho y peso muerto). La menor hipertrofia observada en las fibras tipo II en los culturistas también puede asociarse a la velocidad de ejecución de las repeticiones. Estos deportistas necesitan desarrollar al máximo la hipertrofia muscular. Por este motivo entrenan habitualmente a una intensidad relativa menor (~80% 1RM), con ejercicios que requieren menor potencia, ejecutando un mayor número de series y de repeticiones, y con una ejecución lenta del movimiento. Este tipo de esfuerzo estimula las fibras tipo II porque éstas son requeridas cuando la intensidad de carga es relativamente elevada; sin embargo, debido a la fatiga inherente a las características del programa descrito, la velocidad de ejecución de las repeticiones es progresivamente más lenta durante el desarrollo de la sesión de entrenamiento, induciendo una alta participación de las fibras tipo I. En la misma línea, Bosco *et al.*, (2000) describieron un reclutamiento selectivo de las fibras tipo II y tipo I, respectivamente, para la ejecución de una sentadilla completa y una media sentadilla, dependiendo del tiempo de ejecución de las repeticiones (1.671 mseg vs. 518 mseg). Globalmente, todos estos datos sugieren que la hipertrofia no sólo depende de la intensidad de la carga y que probablemente la velocidad de ejecución es el factor determinante de la hipertrofia selectiva del tipo de fibra muscular, sino que además el análisis de la hipertrofia en deportistas de halterofilia y *powerlifting* determina que es posible el desarrollo óptimo de la hipertrofia

requerida para una determinada modalidad deportiva entrenando a una intensidad diferente a la habitualmente recomendada, 6-12RM. Probablemente, una comparación de la curva fuerza-tiempo nos demostraría que los halterófilos son capaces de manifestar altos niveles de fuerza en poco tiempo, mientras que los fisicoculturistas necesitarían más tiempo para manifestar el mismo nivel de fuerza.

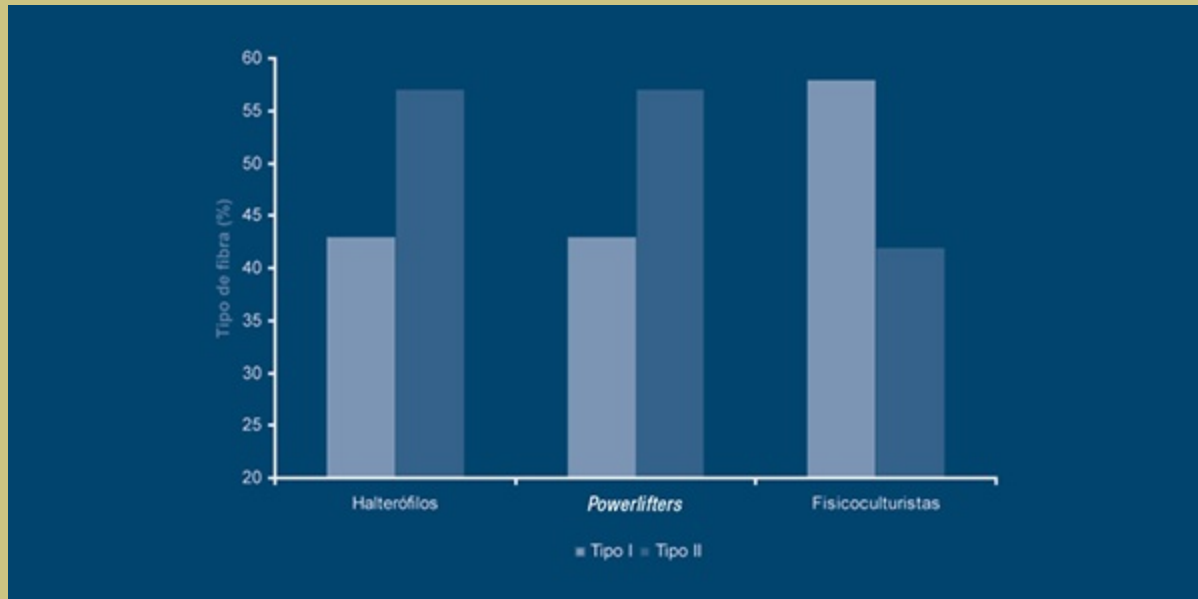


FIGURA 3.37. Diferencias en el porcentaje de fibras musculares en deportistas de halterofilia, *powerlifting* y fisicoculturismo. El porcentaje de fibras tipo I y II es equivalente en halterófilos y *powerlifters*, y difieren significativamente del tipo de fibra muscular de los fisicoculturistas. Estas diferencias pueden deberse a condicionantes genéticos que han determinado la participación en una u otra modalidad deportiva o al entrenamiento realizado.

Adaptado de Fry AC. Sports Med 2004;34:663-79.

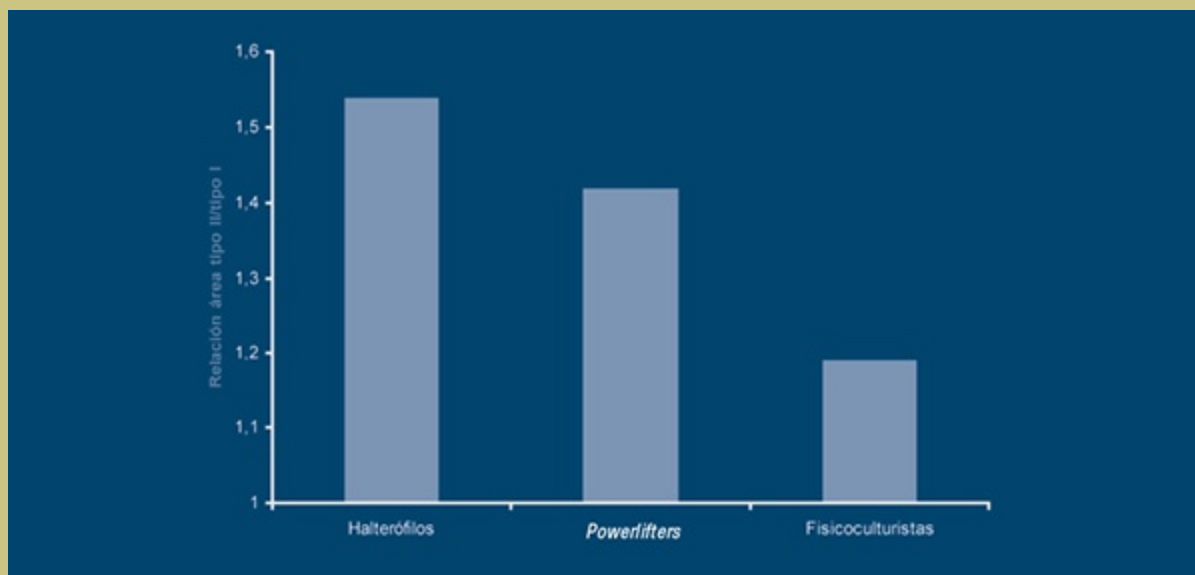


FIGURA 3.38. Diferencias en la proporción del área de las fibras tipo II/tipo I en deportistas de halterofilia, *powerlifting* y fisicoculturismo. La proporción del área de las fibras tipo II/tipo I, un indicador indirecto del efecto del entrenamiento, es significativamente superior en los halterófilos que en los *powerlifters*, siendo la relación más baja en los fisicoculturistas. Véase con la ayuda del texto que estos datos son indicativos de la influencia que sobre la distribución del tipo de fibra muscular tienen las características del entrenamiento realizado con sobrecargas.

Adaptado de Fry AC. Sports Med 2004;34:663-79.

El análisis realizado en base a los datos aportados en los estudios de Fry (2004) y Bosco *et al.*, (2000) únicamente nos permite estimar indirectamente que en el entrenamiento con sobrecargas la ejecución de las repeticiones a máxima velocidad produce una hipertrofia selectiva de las fibras rápidas que puede asociarse a su utilización preferencial en el entrenamiento, induciendo adaptaciones neurales y metabólicas en las fibras determinantes del rendimiento en las acciones motrices que requieren la manifestación de fuerza explosiva. Sin embargo, no existe actualmente **evidencia científica** definida que determine que la ejecución de las repeticiones a la **máxima velocidad** en el entrenamiento con sobrecargas esté asociada a una mayor manifestación de fuerza explosiva en las acciones de competición. En un trabajo de revisión, Pereira y Gomes (2003) mostraron que los pocos estudios que han investigado los efectos que la ejecución del movimiento a distintas velocidades tiene sobre parámetros de la fuerza y del rendimiento se han realizado utilizando mayoritariamente equipamiento isocinético e hi-dráulico,

y, por tanto, sus conclusiones no son aplicables al rendimiento deportivo que se caracteriza por manifestar fuerza en condiciones isotónicas. En estudios que han determinado los efectos del entrenamiento en acciones motrices específicas, por ejemplo, la capacidad de salto, no se ha conseguido verificar que un entrenamiento con sobrecargas ejecutando las repeticiones a la velocidad máxima incremente en mayor medida el rendimiento (Young y Bilby, 1993; Palmieri, 1987). Probablemente, las características de los programas de entrenamiento realizados en estos estudios, la duración del programa y el nivel de los deportistas no reúnan las condiciones más adecuadas para determinar el efecto diferencial de la velocidad de ejecución sobre el rendimiento en acciones específicas. Un claro ejemplo de estas deficiencias y del estado actual de la investigación sobre la velocidad de ejecución en el entrenamiento con sobrecargas se muestra en la metodología de trabajo planteada en un estudio publicado en una revista de prestigio (Munn *et al.*, 2005). Como se observa en la figura 3.39, la realización en un programa de entrenamiento de 1 serie del ejercicio curl de bíceps unilateral a velocidad de contracción rápida indujo un mayor incremento de 1RM que la realización a una velocidad de contracción lenta. Sin embargo, no se demostró un efecto diferencial significativo de la velocidad en la realización de 3 series. Independientemente de los resultados, el objetivo del estudio no puede ser valorado por las numerosas limitaciones metodológicas del programa de entrenamiento realizado. Así, el programa de entrenamiento aplicado no es periodizado, tiene muy poca duración y está dirigido a sujetos no entrenados que ejecutan un único ejercicio uniarticular a una intensidad de 6-8 RM. Como veremos posteriormente, la ejecución de 6-8RM hasta el fallo muscular determina una velocidad de ejecución muy lenta en las últimas repeticiones. Además, el efecto del entrenamiento fue valorado mediante la mejora de 1RM en un ejercicio inespecífico y no mediante los cambios de la velocidad de ejecución de una acción motriz específica.

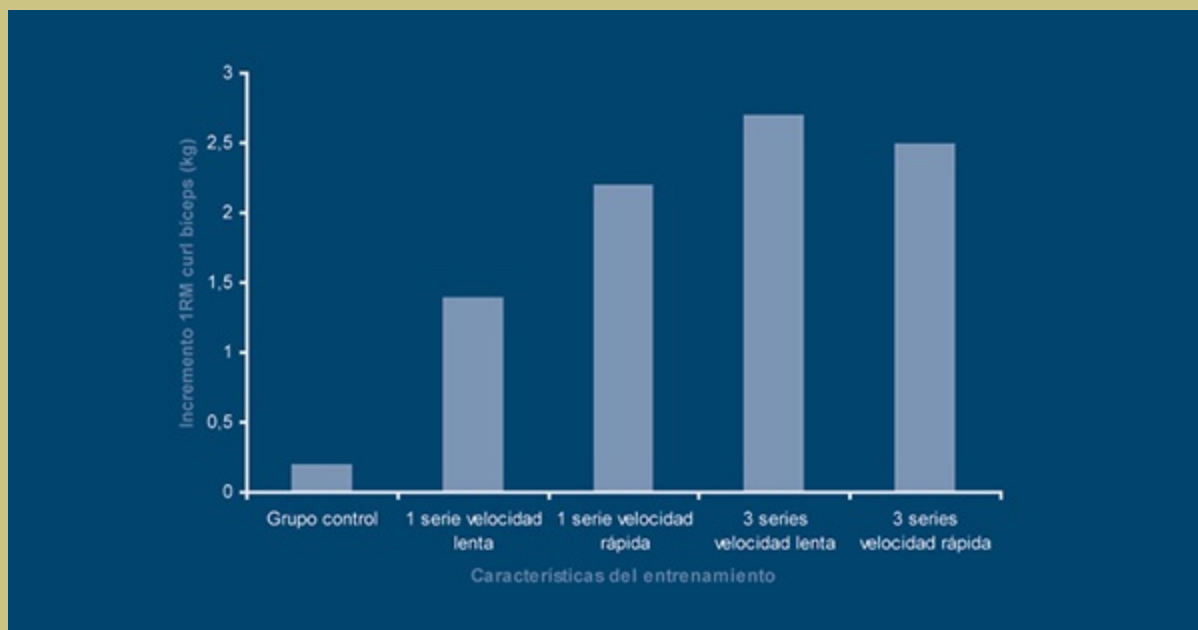


FIGURA 3.39. Efecto diferencial de la velocidad de ejecución de las repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas sobre 1RM en el curl de bíceps unilateral. La ejecución de 3 series induce un incremento de 1RM superior a la ejecución de 1 serie. Sin embargo, la influencia de la velocidad de ejecución de las repeticiones es contradictoria: mayor incremento a velocidad máxima cuando se ejecuta 1 serie, y menor incremento cuando se ejecutan 3 series. La medición de fuerza es inespecífica (1RM) sobre un ejercicio unilateral (bíceps) y el entrenamiento realizado (6-8RM) no es probablemente el más apropiado para los objetivos del estudio. Este ejemplo es representativo del estado actual de las investigaciones en relación con el efecto diferencial que tiene sobre el incremento de fuerza la realización de las repeticiones a velocidad controlada o a velocidad máxima.

Adaptado de Muun J et al. Med Sci Sports Exerc 2005;37:1622-6.

Desde nuestra perspectiva, Liow y Hopkins (2003) realizaron el estudio más interesante relativo a la influencia de la velocidad de ejecución de las repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas. En este estudio se distribuyó a 38 deportistas de kayak de nivel nacional en 3 grupos de entrenamiento: un grupo de control, que continuó realizando su entrenamiento habitual en agua y en seco, y 2 grupos experimentales que, además de realizar el entrenamiento habitual, participaron en un entrenamiento con sobrecargas, basado principalmente en la ejecución a una intensidad del 80% 1RM del ejercicio de prensa de pecho hasta el fallo muscular. El único aspecto diferencial de ambos grupos fue la velocidad de ejecución de la fase concéntrica, grupo experimental (ejecución lenta) y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

grupo experimental (ejecución rápida). Los autores seleccionaron como variable de rendimiento un test de 15 m en kayak en una piscina, determinando el tiempo cada 3,75 m. Como se observa en la figura 3.40, los 2 grupos que realizaron entrenamiento con sobrecargas evidenciaron un incremento de rendimiento superior al grupo de control. El hallazgo más significativo es que el incremento de rendimiento en la fase de aceleración (de 0 a 3,75 m) fue superior en el grupo que realizó las repeticiones a una velocidad lenta, mientras que para la fase de mantenimiento de la velocidad (7,5 a 15 m) la mejora de rendimiento fue superior en los deportistas que ejecutaron las repeticiones a una velocidad rápida. Estos resultados pueden estar en relación con las características de aplicación de fuerza en las distintas fases del esfuerzo. Un incremento de fuerza a velocidad lenta es específico de la fase de aceleración debido a que el tiempo de contacto (cuando el remo está en el agua) es muy elevado (~500 mseg), mientras que un incremento de fuerza a velocidad elevada es específico para la fase en que el bote alcanza la velocidad máxima debido a que el tiempo de contacto se reduce a ~220 mseg. Se puede deducir que la transferencia en la adaptación del entrenamiento con sobrecargas fue específica en el tiempo de contracción realizada en el entrenamiento y en el ejercicio de competición. No obstante, en estos resultados han podido influir dos variables importantes que determinan una interpretación prudente: (i) la muestra no tenía experiencia previa en el entrenamiento con sobrecargas, y (ii) el entrenamiento realizado (80% 1RM) quizás implique poca transferencia a la fuerza específica de competición tanto por la magnitud de la carga como por su ejecución hasta el fallo muscular. Además, es necesario realizar estudios controlados en otras modalidades deportivas caracterizadas por un menor tiempo de contacto en la fase de aceleración (p. ej., carrera de 100 m) con el objetivo de determinar los efectos del entrenamiento a distintas velocidades de ejecución de las repeticiones sobre el rendimiento parcializado en competición.

Número de repeticiones

El **número de repeticiones** que pueden ejecutarse en el entrenamiento con sobrecargas depende de la intensidad relativa de la carga. Para una misma intensidad relativa no existe evidencia científica del número óptimo de repeticiones que se debe realizar para aumentar la fuerza explosiva en las acciones motrices específicas de competición. La concepción del

entrenamiento tradicional sugiere que, para una intensidad de **1-6RM**, se debe llegar hasta el fallo muscular mediante la ejecución del **máximo número de repeticiones posible** (Crewther *et al.*, 2005; Kraemer y Ratamess, 2004) (figura 3.41). Para una intensidad de **6-12RM**, aunque generalmente no se da información concreta en relación con el entrenamiento hasta el fallo frente al no fallo muscular, el entrenamiento de hipertrofia asociado tradicionalmente a esta intensidad de trabajo se relaciona con la ejecución del **máximo número de repeticiones posibles** (Delecluse *et al.*, 1997) (figura 3.42). Hay que considerar que en casi todos los estudios asociados al entrenamiento con sobrecargas los programas de entrenamiento a una intensidad de 1-12RM se ejecutan hasta el fallo muscular. Aunque los investigadores están de acuerdo en que, para desarrollar la fuerza explosiva con una intensidad de **12-26RM** (~70-30% 1RM), únicamente deben ser ejecutadas las repeticiones que permiten mantener la máxima velocidad de ejecución, el número de repeticiones recomendadas para cada intensidad de carga no se ha establecido (p. ej., de **1 a 6 repeticiones**) (Kraemer y Ratamess, 2004) (figura 3.43).

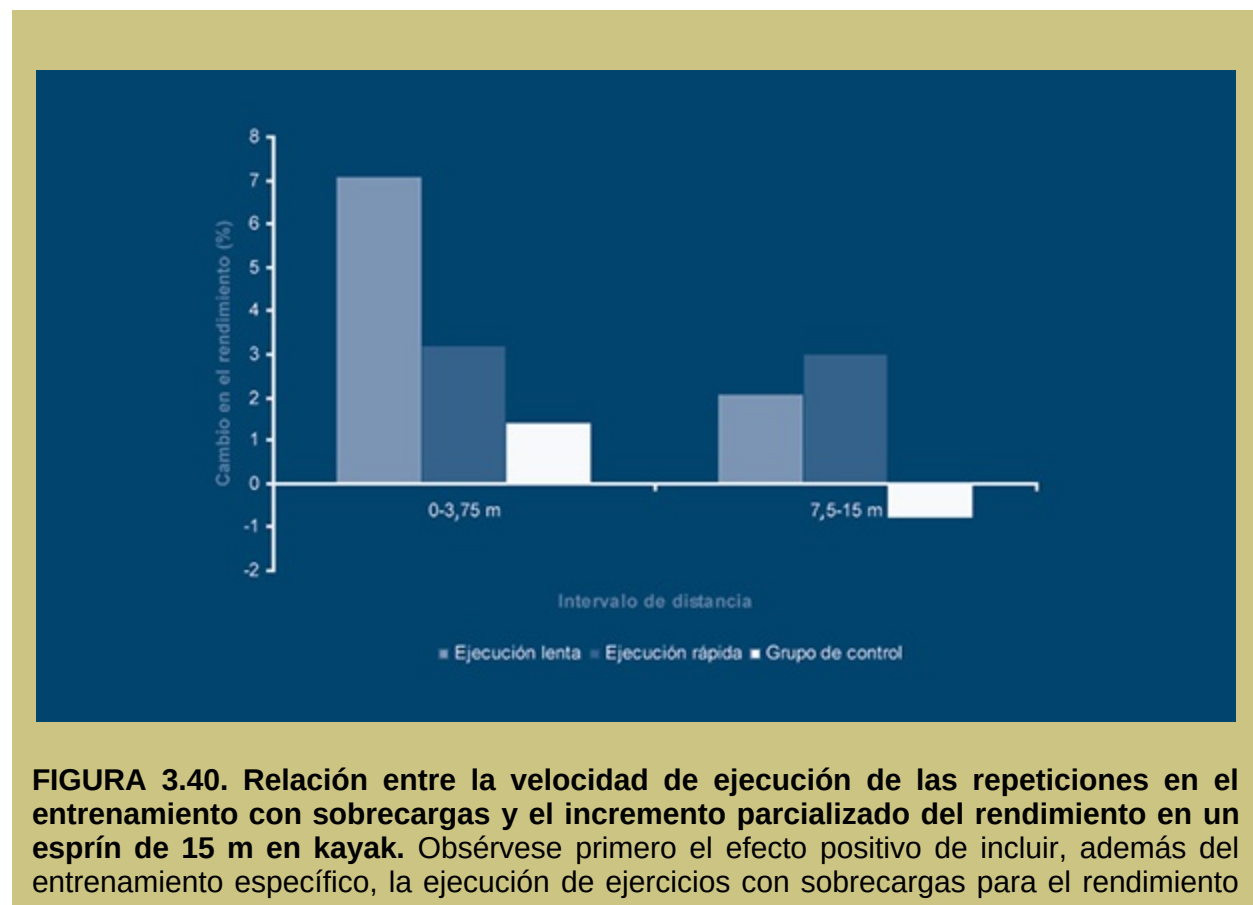


FIGURA 3.40. Relación entre la velocidad de ejecución de las repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas y el incremento parcializado del rendimiento en un esprín de 15 m en kayak. Obsérvese primero el efecto positivo de incluir, además del entrenamiento específico, la ejecución de ejercicios con sobrecargas para el rendimiento

de una acción motriz específica (véase el cambio de rendimiento de los 2 grupos experimentales respecto al grupo de control). Respectivamente, los sujetos que ejecutaron las repeticiones lentas o rápidas tienen un mayor incremento de rendimiento en la parte inicial o final del desplazamiento. El tiempo para manifestar fuerza es mucho mayor en la parte inicial que en la parte final como consecuencia de las diferencias de la inercia de movimiento. Estos datos son un claro ejemplo de la necesidad de adecuar el entrenamiento con sobrecargas a las características de la fuerza requerida en competición. Sin embargo, el tiempo para manifestar fuerza en la mayoría de los desplazamientos es mucho menor que el requerido en la acción motriz estudiada.

Elaborado con datos de Liow DK y Hopkins WG. Med Sci Sports Exerc 2003;35:1232-7.

Actualmente, algunos autores consideran que, una vez seleccionada la intensidad de entrenamiento en función del objetivo de trabajo, la **velocidad de ejecución** de cada repetición determina el **número de repeticiones** a ejecutar (Legaz-Arrese *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2006a; Folland *et al.*, 2002; Sanborn *et al.*, 2000). Es conocido que durante 1 serie la velocidad de ejecución de las repeticiones disminuye de forma natural conforme aumenta el número de repeticiones efectuadas (figura 3.44). Esto determina que, aunque un deportista manifieste la máxima velocidad posible en cada una de las repeticiones, la potencia desarrollada en las últimas repeticiones disminuye drásticamente. En consecuencia, el deportista no manifiesta la fuerza explosiva y progresivamente está incidiendo en el desarrollo de la fuerza resistencia con la implicación de fibras más lentas. Por este motivo, se sugiere un **entrenamiento basado en el mantenimiento de la potencia máxima** que requiere ejecutar el **máximo número de repeticiones que para cada intensidad permite mantener la máxima velocidad de ejecución o potencia mecánica**.

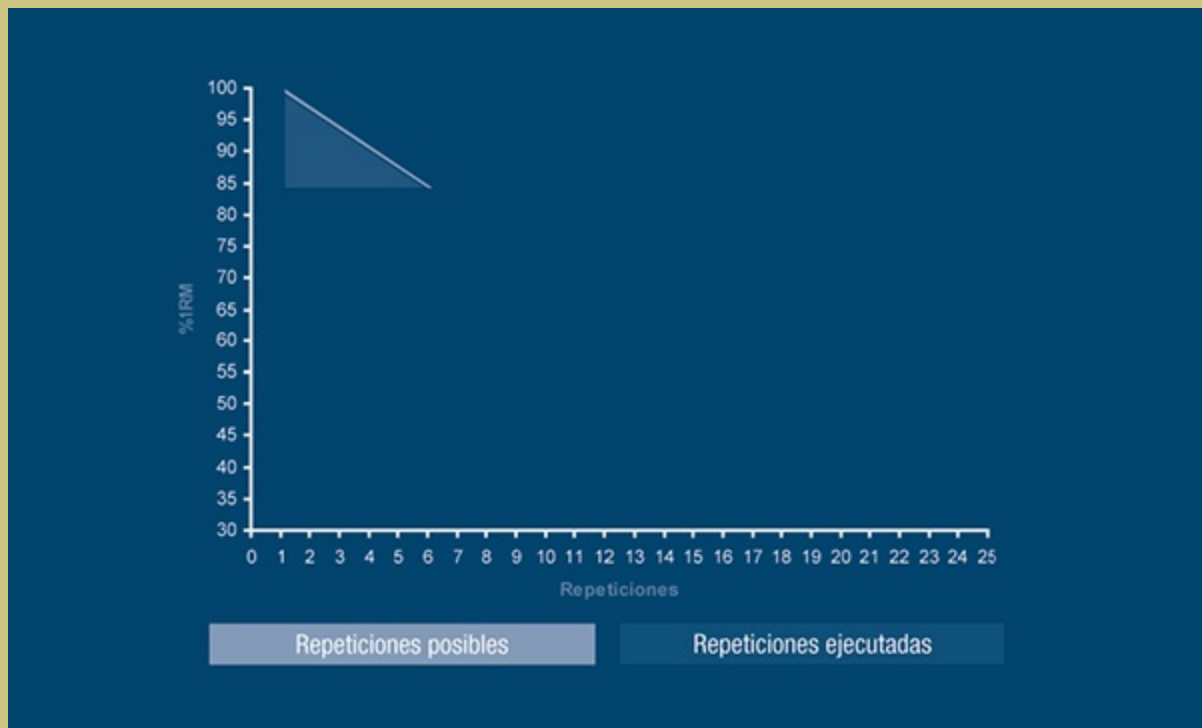


FIGURA 3.41. Repeticiones ejecutadas en el entrenamiento tradicional con sobrecargas a una intensidad de 1-6RM (~100-85% 1RM). La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993). El entrenamiento tradicional con sobrecargas considera ejecutar, para este intervalo de intensidad relativa, el máximo número de repeticiones posibles. La ejecución hasta el fallo muscular es inherente a no poder mantener la máxima velocidad de ejecución, implicando a fibras más lentas e incidiendo en el desarrollo de fuerza resistencia.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

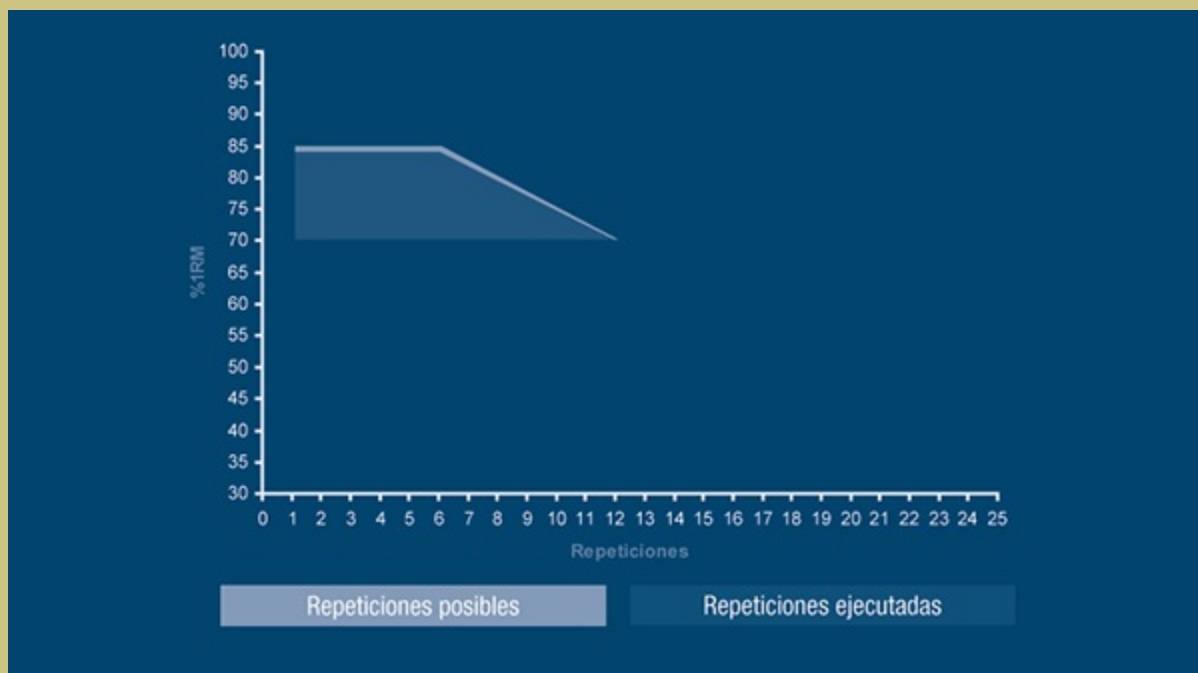


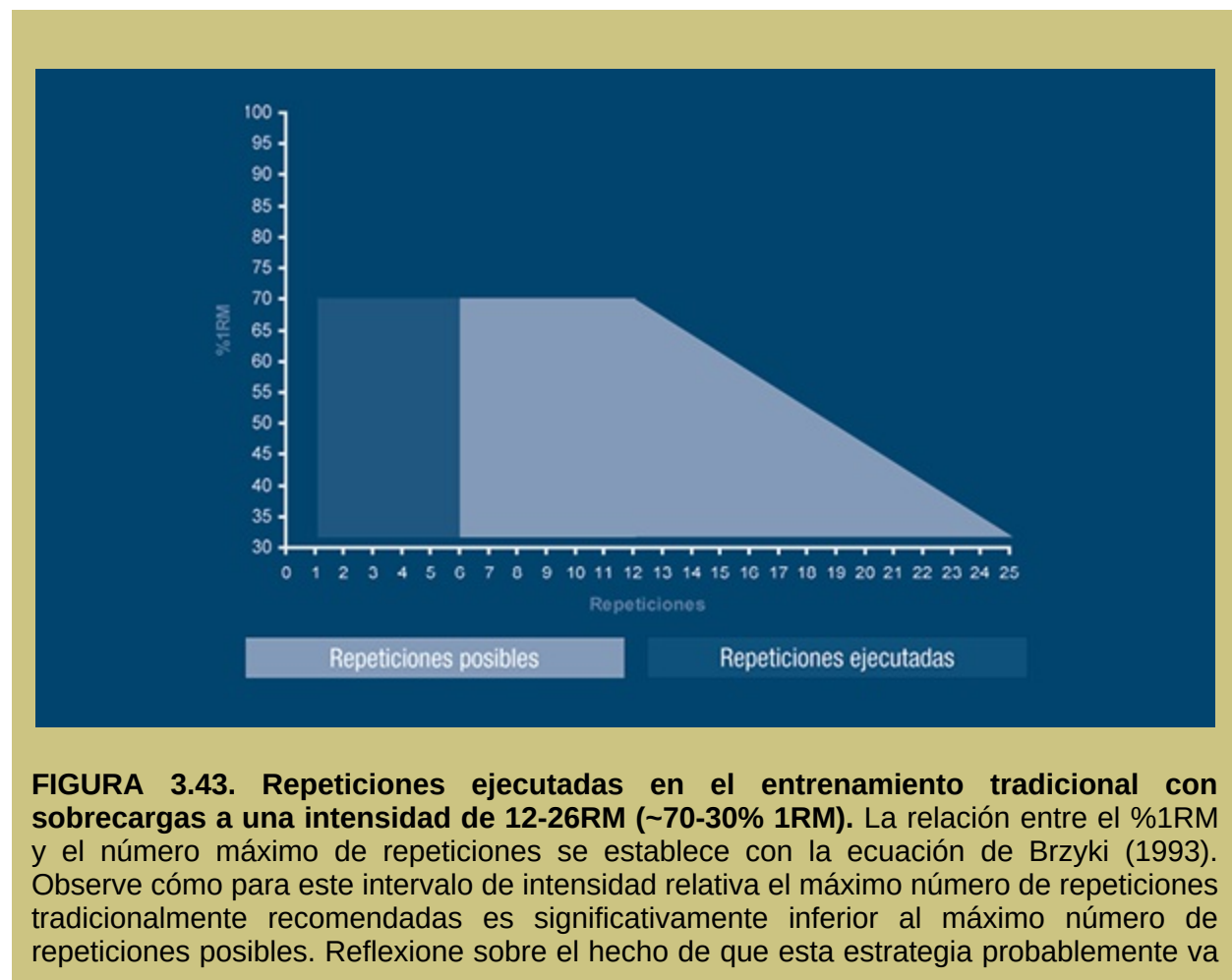
FIGURA 3.42. Repeticiones ejecutadas en el entrenamiento tradicional con sobrecargas a una intensidad de 6-12RM (~85-70% 1RM). La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993). El entrenamiento tradicional con sobrecargas también considera ejecutar, para este intervalo de intensidad relativa, el máximo número de repeticiones posibles. Como éste es mayor que a una intensidad relativa superior, todavía es más evidente que la ejecución hasta el fallo muscular no permite mantener la máxima velocidad de ejecución de las repeticiones y, como consecuencia, se desarrolla prioritariamente la fuerza resistencia con elevada implicación de fibras lentas en las últimas repeticiones.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

Según los autores, Bosco (1991) fue el primero en sugerir que en el entrenamiento con sobrecargas, para desarrollar la fuerza explosiva, únicamente se debería ejecutar las repeticiones que permiten mantener una potencia elevada (90% con respecto a la máxima potencia desarrollada para cada intensidad de carga). Sin embargo (y sorprendentemente), dos décadas después **únicamente 4 estudios** han aportado alguna información sobre el **número óptimo de repeticiones que permiten mantener una elevada velocidad de ejecución** para algunos niveles de intensidad de carga (Izquierdo *et al.*, 2006a; Lawton *et al.*, 2006; Abdessemed *et al.*, 1999; Mookerjee y Ratamess, 1999).

Lawton *et al.*, (2006) observaron durante la ejecución de 6RM en prensa

de pecho una disminución lineal de la potencia de cada repetición en comparación con la potencia desarrollada en la primera repetición ($-8 \pm 9\%$, $-18 \pm 8\%$, $-30 \pm 9\%$, $-42 \pm 12\%$, y $-53 \pm 12\%$, respectivamente, para la 2ª, 3ª, 4ª, 5ª y 6ª repeticiones) (figura 3.44). Mookerjee y Ratamess (1999) mostraron durante la ejecución de 5RM en prensa de pecho un incremento significativo de la duración de la fase concéntrica al relacionar las 3 primeras repeticiones (1,2-1,6 seg) con la 4ª (2,5 seg) y 5ª repeticiones (3,3 seg). Según estos datos, para mantener una potencia óptima no parece adecuado ejecutar más de **2-3 repeticiones** para una **intensidad de 5-6RM**. No conocemos ningún trabajo en el que se haya determinado el patrón de la velocidad a una intensidad de **3-4RM**. Sin embargo, es deducible que para esta intensidad únicamente en las **2 primeras repeticiones** será posible mantener una potencia óptima. De forma análoga, es de esperar una disminución de la potencia en la 2ª repetición en la ejecución de 2RM (figura 3.45).



a permitir desarrollar la máxima velocidad de ejecución en todas las repeticiones y, como consecuencia, incidir en el desarrollo de la fuerza explosiva con la intervención de las fibras más rápidas. Observe, sin embargo, como el máximo número de repeticiones recomendadas, habitualmente 5-6, es independiente de la intensidad relativa de carga.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

Para una intensidad de 6-12RM, hemos encontrado sólo 2 estudios que hayan aportado información sobre el descenso de la potencia de las repeticiones en las intensidades más bajas de esta zona de trabajo.

Abdessemed *et al.*, (1999), durante la ejecución en el ejercicio de prensa de pecho de 10 series de 6 repeticiones al 70% 1RM (~12RM), mostraron que la potencia en cada repetición y en cada serie no disminuye significativamente cuando el período de descanso entre series es 3-5 min.

Izquierdo *et al.*, (2006a), en la ejecución hasta el fallo muscular del ejercicio de prensa de pecho a una intensidad similar, $11,4 \pm 2\text{RM}$ (70% 1RM), observaron que la velocidad de la 4ª repetición disminuye significativamente en relación con el promedio de velocidad alcanzado en las 2 repeticiones iniciales. Los autores mostraron que para una intensidad ligeramente superior, $8,8 \pm 2\text{RM}$ (75% 1RM), se experimenta un descenso significativo de la potencia desde la 3ª repetición.

Probablemente, la discrepancia entre ambos estudios se debe a diferencias en la ejecución de cada repetición. Así, mientras en el estudio de Izquierdo *et al.*, (2006a) se indicó a los deportistas que desplazaran la barra en la fase concéntrica a la máxima velocidad posible, la descripción de la metodología del estudio de Abdessemed *et al.*, (1999) es confusa: “los sujetos fueron instruidos para seguir el ritmo de un levantamiento por segundo. Se les animó a dar el máximo en cada repetición”.

Según los mencionados estudios de Izquierdo y cols (2006a) y Lawton *et al.*, (2006), es posible establecer el intervalo óptimo de repeticiones para el mantenimiento de una potencia elevada a una intensidad de 6-12RM: **2-3 repeticiones** a una intensidad de **6RM**, **no más de 3 repeticiones** para una carga de **7-9RM** y un **máximo de 4-5 repeticiones** a una intensidad de **10-12RM** (figura 3.46).

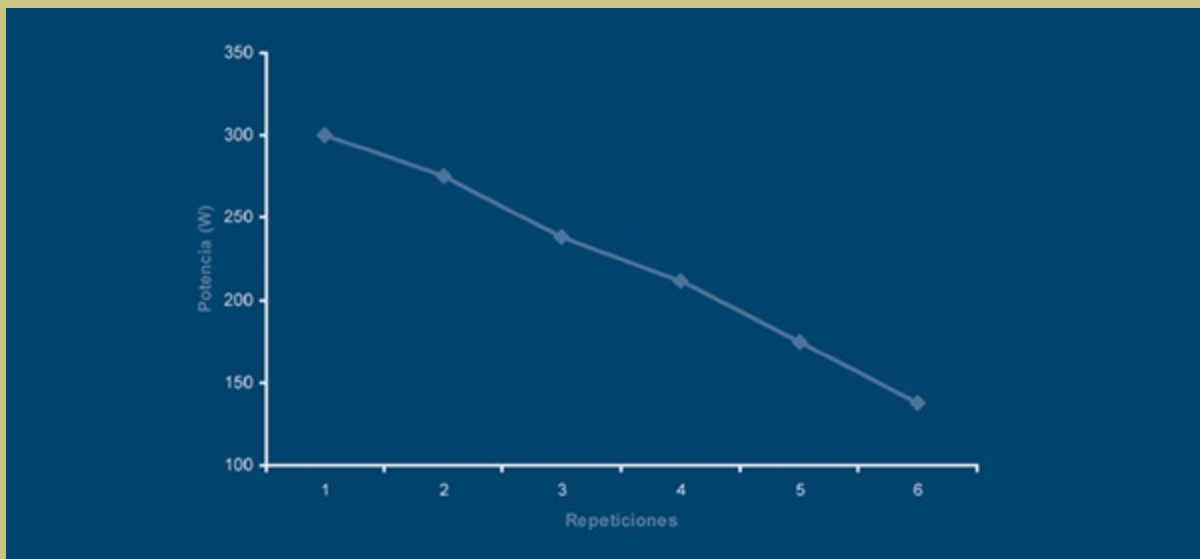


FIGURA 3.44. Potencia de las repeticiones durante la ejecución de 6RM en prensa de pecho. En este ejemplo con deportistas junior de baloncesto y fútbol, la concepción tradicional de ejecutar en el entrenamiento con sobrecargas el máximo número de repeticiones posibles a una intensidad relativa elevada es inherente a una disminución progresiva de la potencia desarrollada y, por tanto, de la velocidad de ejecución. En las dos últimas repeticiones los deportistas sólo pueden manifestar ~50% de la máxima potencia.

Adaptado de Lawton TW et al. J Strength Cond Res 2006;20:172-6.

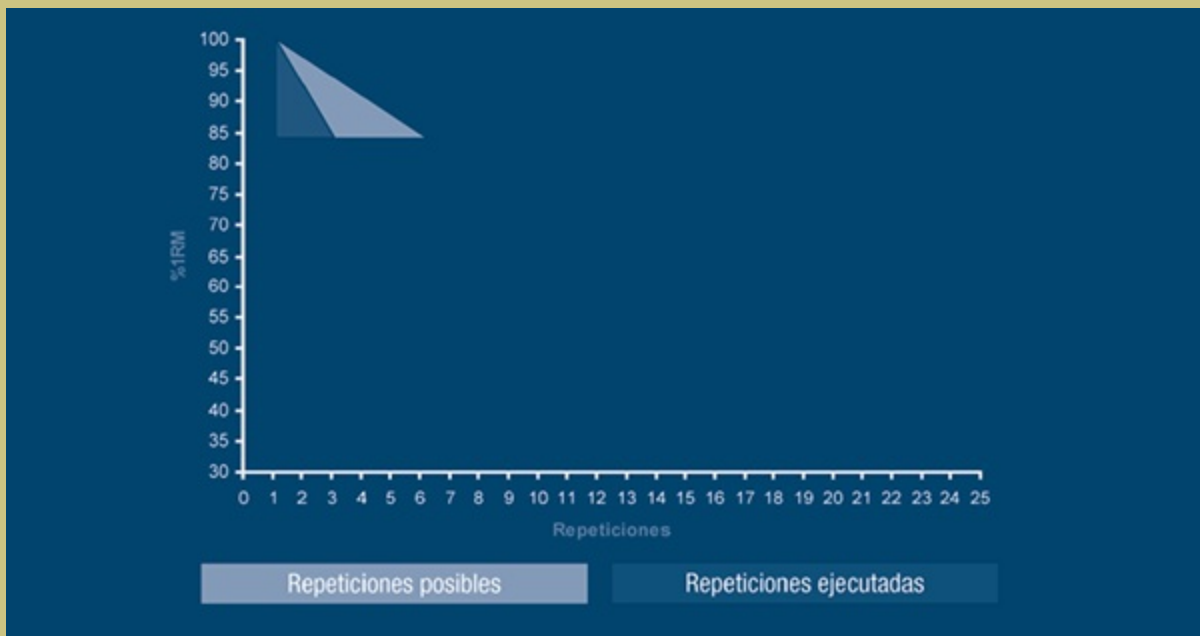


FIGURA 3.45. Repeticiones ejecutadas en el entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica a una intensidad de 1-6RM (~100-85% 1RM). La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993). La ejecución del máximo número de repeticiones posibles en este intervalo de intensidad induce una disminución progresiva de la potencia desarrollada; obsérvese el número de repeticiones que, según la escasa evidencia científica, se recomienda para mantener la potencia máxima para cada intensidad de carga. Considérense las diferencias que en esta relación pueden existir entre deportistas y ejercicios, y, por tanto, la conveniencia de determinar de forma directa la potencia en las sesiones de entrenamiento.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

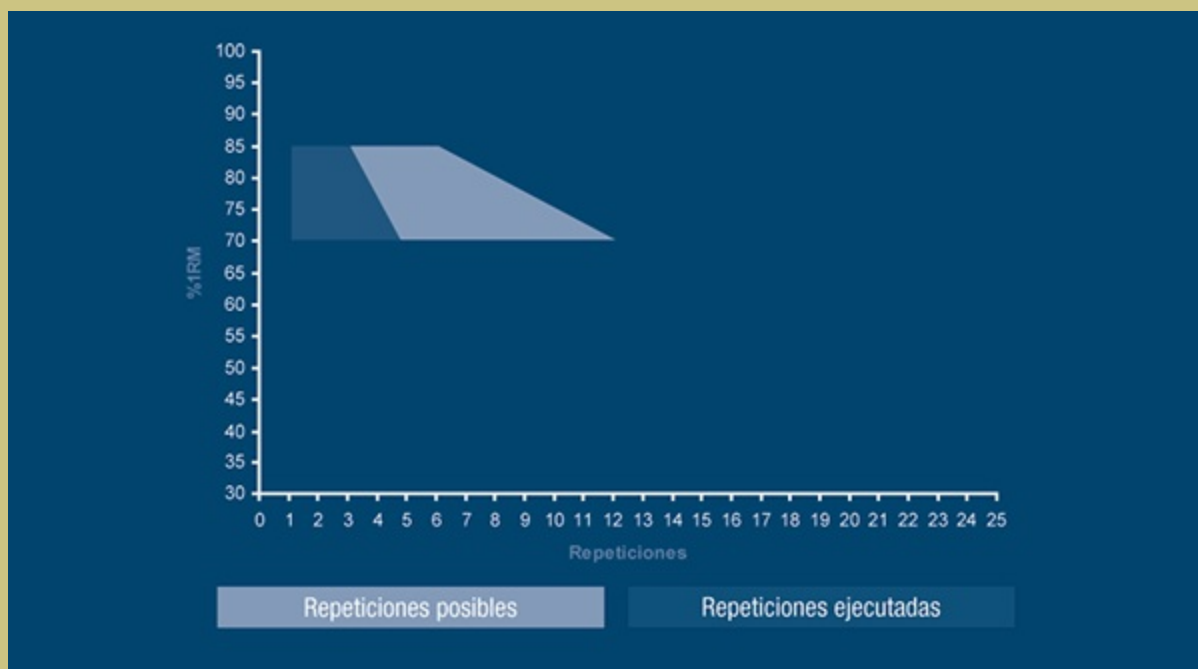


FIGURA 3.46. Repeticiones ejecutadas en el entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica a una intensidad de 6-12RM (~85-70% 1RM). La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993). Obsérvese el número de repeticiones que según la escasa evidencia científica, se recomienda para mantener la potencia máxima para cada intensidad en este intervalo de carga. Este intervalo de intensidad, habitualmente establecido para el desarrollo de la hipertrofia muscular, es adecuado para desarrollar la fuerza explosiva sólo si se ejecutan las repeticiones establecidas. Esta relación puede diferir entre deportistas y ejercicios.

Adaptado de Legaz-Arrese A, et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

A pesar de que los autores consideran fundamental ejecutar a la máxima velocidad de movimiento las repeticiones a una intensidad de 12-26RM,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

únicamente en el mencionado estudio de Izquierdo *et al.*, (2006a) se estableció el patrón de la velocidad de ejecución en las intensidades más elevadas. Los autores observaron, para el ejercicio de prensa de pecho, que en la ejecución de $13,8 \pm 2\text{RM}$ (65% 1RM) y $17,25 \pm 2\text{RM}$ (60% 1RM) se evidencia un descenso significativo de la velocidad de movimiento en relación con el promedio de velocidad de las dos primeras repeticiones en la 5ª y 7ª repeticiones, respectivamente. En relación con estos resultados, se recomienda ejecutar un máximo de **5-6 repeticiones** en el intervalo de carga de **13-15RM**, y **6-7 repeticiones** en el intervalo de **16-18RM**. Aunque no se dispone de datos de la velocidad de movimiento para intensidades de **18-26RM** (~55-30% 1RM), desde una perspectiva metabólica consideramos que difícilmente un deportista será capaz de desarrollar una potencia óptima ejecutando más de **8-10 repeticiones** (figura 3.47).

Como la velocidad de ejecución de las repeticiones puede ser un factor determinante de la transferencia de la fuerza obtenida en el entrenamiento con sobrecargas al gesto motor específico de competición, realizar exclusivamente las repeticiones que permiten mantener una óptima potencia mecánica puede ser relevante en el proceso de entrenamiento de los deportistas que necesitan fuerza explosiva. En este sentido, el **entrenamiento basado en el mantenimiento de la potencia mecánica** establece la intensidad tradicionalmente asociada al desarrollo de la hipertrofia muscular, 6-12RM (~85-90% 1RM), como una zona de trabajo óptima para inducir adaptaciones neurales. Como se ha indicado anteriormente, esta zona de trabajo es probablemente la intensidad más elevada recomendada para la mayoría de modalidades deportivas. El entrenamiento a una intensidad de 70-85% 1RM hasta el fallo muscular es el estímulo más efectivo para incrementar el tamaño muscular (Fry, 2004), pero, desde una perspectiva funcional, el objetivo de trabajo es la fuerza resistencia, un objetivo alejado del incremento de la velocidad de ejecución de las tareas motrices específicas. Además, es probable que la realización del máximo número de repeticiones en esta zona de trabajo esté asociada a una disminución del porcentaje de fibras tipo IIB y a un aumento del porcentaje de fibras tipo IIAB y IIA. Estos resultados se demostraron en el metaanálisis realizado por Fry (2004) (figura 3.48), que, aunque identifica una intensidad del 40-90% 1RM, comprende una mayoría de estudios que se caracterizaron por un programa de entrenamiento a una intensidad de 6-12RM hasta el fallo muscular. Cabe especular que, cuanto más se acerca el número de

repeticiones ejecutadas al fallo muscular, es más factible la conversión de las fibras tipo IIB en tipo IIA. Esto es posible ya que en este tipo de programas de entrenamiento probablemente las fibras tipo IIA sean las más utilizadas, debido a que, por una parte, es necesario manifestar una fuerza elevada para desplazar una carga relativamente elevada, pero, por otra, tanto la velocidad de ejecución de cada repetición como sobre todo la fatiga acumulada en las últimas repeticiones de cada serie y entre las diferentes series hacen necesarias fibras resistentes a la fatiga. Por consiguiente, las fibras tipo IIA parecen cumplir una combinación de las necesidades mencionadas, alta generación de fuerza y relativa resistencia a la fatiga. En definitiva, el entrenamiento hasta el fallo muscular con intensidades de 4-12RM puede tener teóricamente consecuencias negativas para la mejora de la velocidad de ejecución en tareas motrices específicas, ya que puede provocar un excesivo incremento de hipertrofia muscular, la conversión de fibras tipo IIB en tipo IIA y el desarrollo de la fuerza resistencia. Probablemente, ejecutar únicamente las repeticiones que pueden ser realizadas a la máxima velocidad de movimiento a intensidad de 6-12RM es suficiente para el desarrollo mediante adaptaciones neurales de un nivel óptimo de fuerza para la mayoría de las modalidades deportivas, así como para inducir hipertrofia selectiva de las fibras tipo IIB.

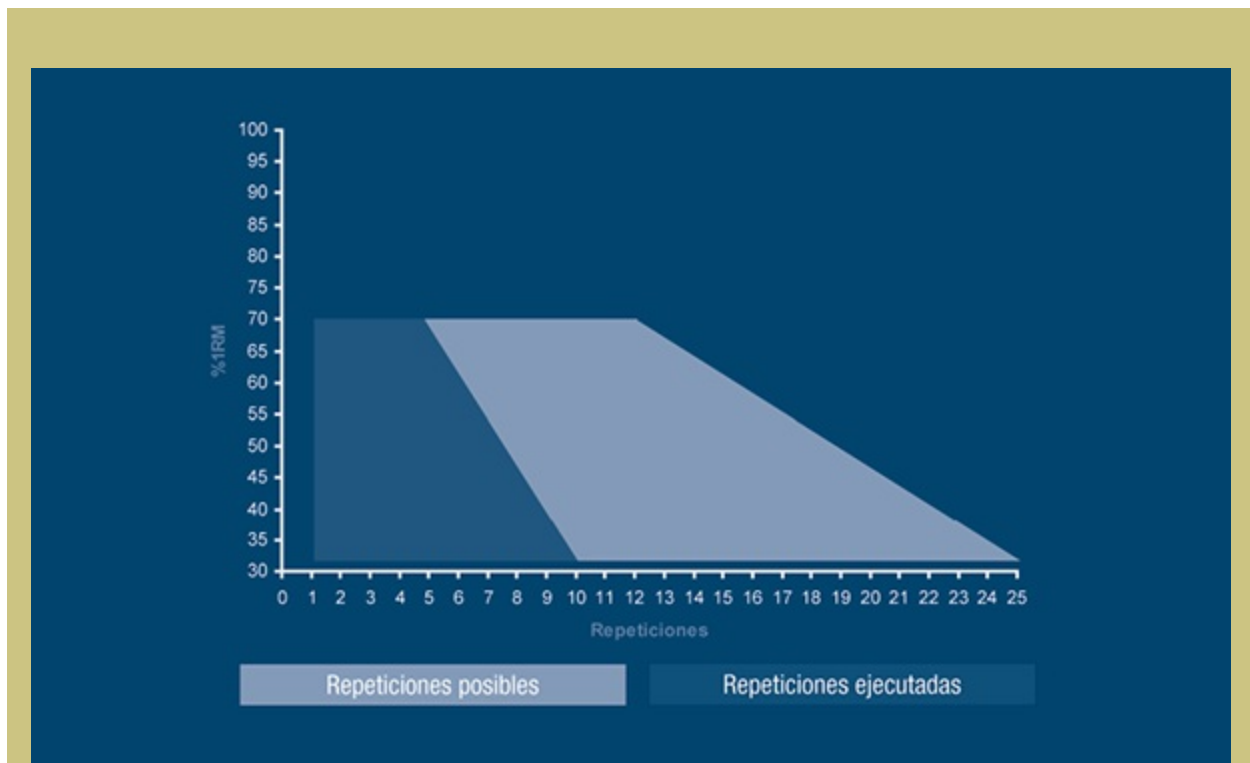


FIGURA 3.47. Repeticiones ejecutadas en el entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica a una intensidad de 12-26RM (~70-30% 1RM). La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993). El máximo número de repeticiones que permiten mantener la potencia máxima para este intervalo de intensidad es superior al número de repeticiones tradicionalmente establecido. Considérese la importancia de ejecutar o no el máximo número de repeticiones que permiten mantener la potencia máxima en función de las características de la manifestación de fuerza explosiva en las distintas modalidades deportivas. La medición directa de la potencia en las sesiones de entrenamiento le permitirá conocer las diferencias que existen entre deportistas y ejercicios en la relación establecida.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

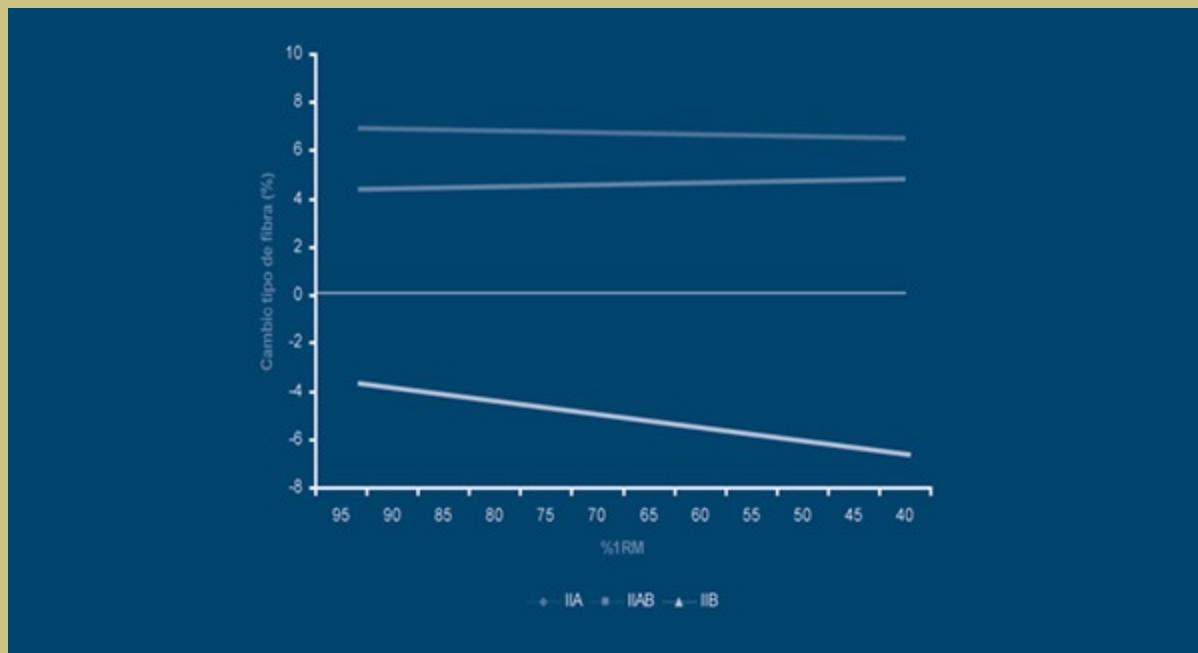


FIGURA 3.48. Metaanálisis de los cambios del tipo de fibra muscular inducidos por el entrenamiento con sobrecargas. Este interesante metaanálisis demuestra que la ejecución tradicional del entrenamiento con sobrecargas induce una conversión de fibras tipo IIB en fibras tipo IIAB y IIA. Supuestamente, esta conversión es negativa para el rendimiento de fuerza explosiva. Este análisis utiliza los mismos estudios representados en la figura 3.15, donde cabe comprobar que en la mayoría de ellos se estableció una intensidad del 80-85% 1RM y se realizó el máximo número de repeticiones posible, con la consiguiente progresiva disminución de potencia y el incremento de participación de fibras más lentas.

Adaptado de Fry AC. Sports Med 2004;34:663-79.

El intervalo de intensidad de 12-26RM se utiliza comúnmente para el

desarrollo de la potencia muscular. Para este objetivo de trabajo se realizan tradicionalmente un máximo de 6 repeticiones. Sin embargo, de los datos aportados por Izquierdo *et al.*, (2006a) cabe deducir que el número de repeticiones factibles a la potencia máxima es significativamente superior, especialmente en la zona de menor intensidad. Esto implica que en el entrenamiento tradicional, para el desarrollo de la potencia muscular, no se requiere el reclutamiento de todas las fibras rápidas ni el agotamiento de los depósitos de PCr. Quizás la ejecución de menos repeticiones de las que es posible hacer a la velocidad máxima no tenga especial relevancia en modalidades deportivas como saltos y lanzamientos, pero puede ser de especial interés en deportes en los que la ejecución continua o intermitente de movimientos a la potencia máxima conlleve una disminución de la velocidad de movimiento causado por la depleción de los depósitos de PCr (p. ej., pruebas de velocidad en atletismo, natación y patinaje) (Hirvonen *et al.*, 1987) y en deportes que requieran la ejecución de esprines repetidos (p. ej., deportes de equipo y de raqueta) (Glaister, 2005).

Este análisis determina que, según los escasos estudios que han valorado el máximo número de repeticiones que pueden ser ejecutadas a la velocidad máxima, el número de repeticiones que habitualmente se realizan a una intensidad de 1-12RM (~100-70% 1RM) es excesivo, mientras que el número de repeticiones habitualmente realizadas a intensidades de 12-26RM (~70-30% 1RM) es insuficiente. Probablemente, la transformación de fibras tipo IIB en tipo IIA encontrada en numerosos estudios es consecuencia de la disminución de la velocidad de movimiento cuando se realizan hasta el fallo muscular con intensidades de 1-12RM. Por el contrario, el número de repeticiones habitualmente ejecutado con intensidades de 12-26RM (1-6 repeticiones) puede ser insuficiente para estimular al máximo el sistema nervioso, las fibras rápidas y el metabolismo aláctico, debido a que es menor que el número de repeticiones que pueden ser ejecutadas a la máxima velocidad de movimiento.

Numerosas cuestiones asociadas al entrenamiento basado en el mantenimiento de la potencia mecánica deben ser evaluadas en **futuros trabajos de investigación**. Hay que considerar que ningún estudio ha valorado el **patrón de disminución de la velocidad** en una serie de 2-4RM, 7-8RM, 10RM, 12-13RM, 15-16RM y >17RM. En consecuencia, para estas intensidades, el número de repeticiones propuesto en el entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica ha tenido

que ser derivado teóricamente según el patrón de la disminución de la velocidad de la carga más cercana descrita en la literatura. Además, la información aportada en el estudio de Izquierdo *et al.*, (2006a) hace referencia al descenso de la potencia para un determinado %1RM y no para una carga de RM. Los estudios también difieren en el procedimiento de identificar un significativo descenso de la velocidad de movimiento: disminución con respecto a la potencia media obtenida en la 1ª repetición (Lawton *et al.*, 2006), disminución respecto al promedio de velocidad obtenido en las dos primeras repeticiones (Izquierdo *et al.*, 2006a) y mantenimiento al menos del 90% de la potencia máxima desarrollada con cada intensidad (Bosco, 1991).

En este sentido, los estudios que han determinado el patrón de la disminución de la velocidad difieren en la **definición de la intensidad**, %1RM (Izquierdo *et al.*, 2006a; Abdessemed *et al.*, 1999) y RM (Lawton *et al.*, 2006; Mookerjee y Ratamess, 1999). Como se ha mostrado previamente, el número de repeticiones a un determinado %1RM está influido por el estatus de entrenamiento (Brown *et al.*, 1990) y principalmente por la cantidad de masa muscular utilizada en el ejercicio, especialmente en las intensidades más bajas (Izquierdo *et al.*, 2006a; Reynolds *et al.*, 2006, Shimano *et al.*, 2006). El análisis de los datos aportados en el estudio de Izquierdo *et al.*, (2006a) muestra, para el mismo ejercicio y %1RM, un coeficiente de variación del 20% en el número de repeticiones ejecutadas hasta el fallo muscular en un grupo muy homogéneo de deportistas de elite. Estos datos sugieren que es erróneo determinar el número de repeticiones realizadas a la máxima velocidad expresando la intensidad mediante el %1RM. Así, dos deportistas difieren significativamente en el máximo número de repeticiones ejecutadas para el mismo %1RM, y consiguientemente difieren en la intensidad real del esfuerzo, en el patrón de activación neural, metabolismo utilizado y número de repeticiones ejecutadas con una potencia óptima.

Los trabajos que han examinado el patrón de disminución de la velocidad de movimiento sobre 1 serie de repeticiones han utilizado el ejercicio de prensa de pecho en una máquina guiada. Es probable que la velocidad de movimiento difiera significativamente entre ejercicios realizados con pesos libres y máquinas, y entre **diferentes ejercicios**. En este sentido, Izquierdo *et al.*, (2006a) han descrito, para el intervalo de 60-75% 1RM, que la reducción del promedio de velocidad se experimenta a porcentajes superiores, sobre el

total de repeticiones ejecutadas, al realizar una media sentadilla (48-70%) que durante la ejecución de una prensa de pecho (34-40%). Estas diferencias se pueden deber parcialmente al número y tamaño de los grupos musculares involucrados en las acciones musculares de las extremidades superiores e inferiores. Sin embargo, pensamos que las diferencias son fundamentalmente debidas a que en la ejecución de una media sentadilla únicamente se realiza una parte de la amplitud del movimiento y a que la intensidad real de esfuerzo no es comparable entre ambos ejercicios, ya que para un mismo %1RM el número de repeticiones ejecutadas fue significativamente superior en la media sentadilla que en la prensa de pecho (figura 3.49). Debido a estas limitaciones y a la ausencia de datos con otras intensidades, nosotros hemos obviado en el análisis del número de repeticiones óptimo para mantener la potencia mecánica los resultados obtenidos para el ejercicio de media sentadilla por Izquierdo *et al.*, (2006a). Sin embargo, somos conscientes de la necesidad de determinar el patrón de la disminución de la velocidad de movimiento para cada RM al menos para los principales ejercicios utilizados en los programas de entrenamiento con sobrecargas en los deportes que requieren el desarrollo de la fuerza explosiva. En esta línea es de destacar que, para la ejecución de ejercicios balísticos con sobrecargas, Baker y Newton (2007) establecieron en sujetos experimentados que únicamente es posible mantener una potencia mecánica óptima durante la ejecución de prensa de pecho lanzado (45% 1RM en prensa de pecho) y salto con sobrecargas (35% 1RM en sentadilla) en las primeras 5 repeticiones. Estos datos son de interés práctico debido a que para estos ejercicios la potencia máxima se desarrolla aproximadamente a la intensidad analizada por los autores, y sugieren que, para una misma intensidad relativa, el número de repeticiones que pueden ejecutarse a máxima potencia es menor en los ejercicios balísticos que en ejercicios tradicionales. Es de destacar también que en el estudio de Lawton *et al.*, (2006) se apreció, para el mismo RM, una **variación entre sujetos** de ~10% en la disminución de la potencia en un grupo homogéneo de deportistas. Es de esperar entonces que el patrón de disminución de la velocidad difiera en mayor medida entre atletas de diferentes especialidades deportivas y nivel previo de experiencia en el entrenamiento de fuerza, y en relación con el **estado del deportista** durante el ciclo anual de entrenamiento.

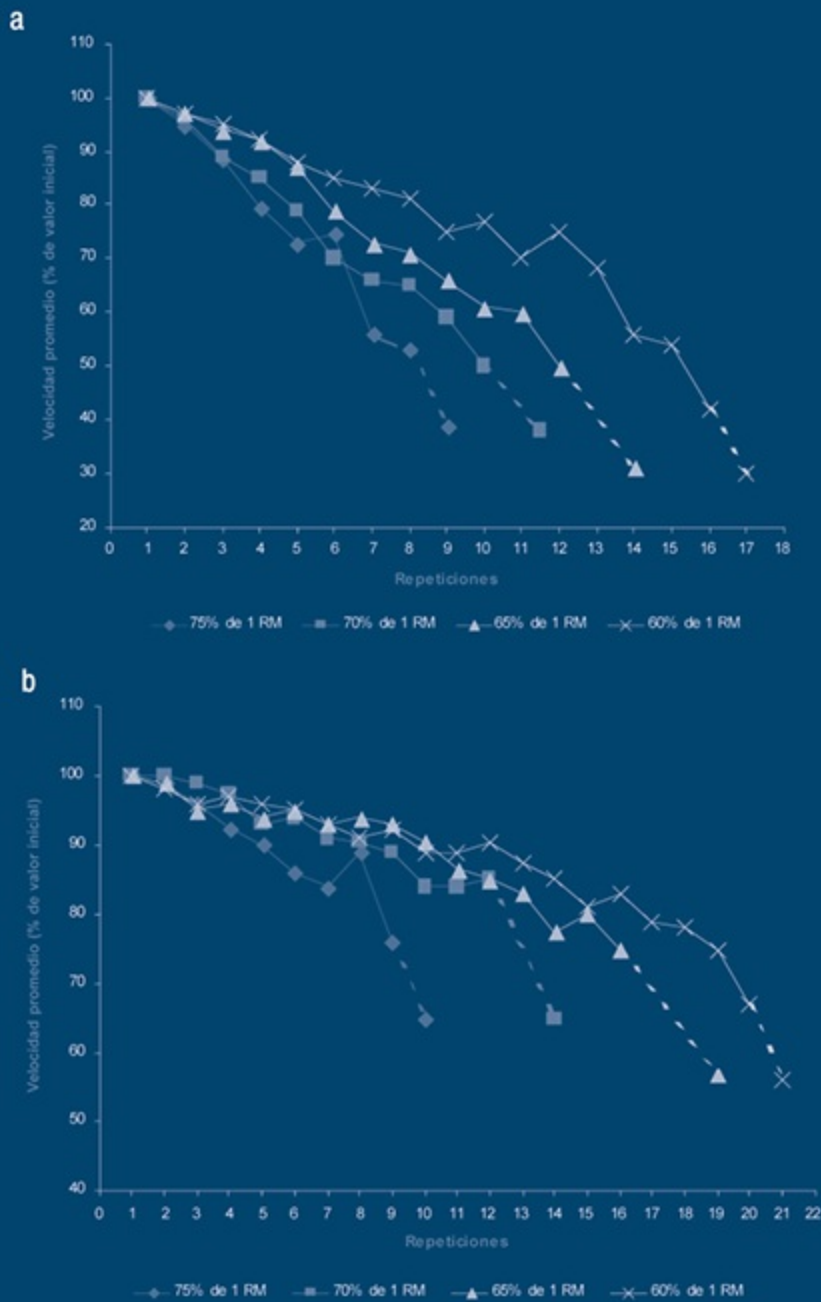


FIGURA 3.49. Diferencias a distintas intensidades ejecutadas hasta el fallo muscular en la disminución de la velocidad de la fase concéntrica en los ejercicios de prensa de pecho (a) y de media sentadilla (b). En ambos ejercicios se evidencia, para las distintas intensidades analizadas, una acusada disminución de la velocidad de ejecución en la fase concéntrica de las últimas repeticiones. El máximo número de repeticiones y el número de repeticiones en que se mantiene una velocidad de ejecución óptima difieren para la distintas intensidades relativas en la ejecución de una prensa de pecho y de una

media sentadilla. El último valor representado para cada intensidad (líneas discontinuas) corresponde al valor promedio del grupo, observándose diferencias entre sujetos en el máximo número de repeticiones posibles y, en consecuencia, también en el patrón de disminución de la velocidad de ejecución. Con estos datos y con la ayuda del texto, considérense las limitaciones de establecer la intensidad mediante %1RM y la importancia de controlar directamente la potencia en las sesiones de entrenamiento.

Adaptado de Izquierdo M et al. Int J Sports Med 2006a;27:718-24.

Otra forma de distribuir el número de repeticiones para mantener una elevada potencia mecánica ha sido propuesta recientemente por Lawton *et al.*, (2006). Los autores diseñaron tres metodologías de entrenamiento para la ejecución de 6RM, alternando períodos de descanso después de la ejecución de 1, 2 y 3 repeticiones (figura 3.50). En los tres diseños se observó un 21-25% de incremento en la potencia total de las 6 repeticiones en relación con la observada en la ejecución continuada de 6RM. Según estos resultados, la utilización del **entrenamiento basado en el descanso entre repeticiones** puede ser un método innovador en el entrenamiento de la fuerza capaz de incrementar en mayor medida la potencia y la fuerza máximas a partir de una mayor implicación neural y adaptación específica de las fibras rápidas. Sin embargo, son necesarias **más investigaciones** de las diferencias mecánicas, hormonales, neurales y metabólicas entre un diseño continuo y un diseño con descanso entre las repeticiones, así como los efectos diferenciados en un entrenamiento a largo plazo, para poder determinar la adaptación y su efecto sobre el rendimiento.

Diseño de una repetición											
Secuencia	X	20 seg	X	20 seg	X	20 seg	X	20 seg	X	20 seg	X
Tiempo		23 seg		46 seg		69 seg		92 seg		115 seg	118 seg

Diseño de dos repeticiones					
Secuencia	XX		50 seg	XX	
Tiempo			56 seg		

Diseño de tres repeticiones			
Secuencia	XXX		100 seg
Tiempo			109 seg

FIGURA 3.50. Metodología basada en el descanso entre repeticiones (p. ej., 6RM). X: una repetición. La duración de cada repetición se establece en 3 seg. Obsérvese otra propuesta para evitar el descenso acusado de potencia inherente a la ejecución del máximo número de repeticiones para una determinada intensidad. En este caso, en vez de reducir el número de repeticiones, se establece un período de descanso entre las repeticiones. Hay tres propuestas para la ejecución de 6RM que consideran el descanso cada repetición y cada 2 y 3 repeticiones. El descanso entre repeticiones aumenta a medida que lo hace el número de repeticiones ejecutadas de forma continua, y la duración total de la serie es la misma en las tres propuestas. La potencia desarrollada mediante esta propuesta fue significativamente superior a la desarrollada durante la ejecución continua de 6RM, y no hubo diferencias entre las tres propuestas de descanso. Considérese la adecuación de este método para el desarrollo de la fuerza explosiva y del número de repeticiones continuadas sin descanso que se podría establecer para otras intensidades relativas.

Adaptado de Lawton TW et al. J Strength Cond Res 2006;20:172-6.

Independientemente de la propuesta de distintos programas que nos orientan sobre el número óptimo de repeticiones que se puede realizar a una potencia elevada, es necesaria una **determinación de la potencia desarrollada** en cada una de las repeticiones si queremos ser rigurosos en el entrenamiento, fundamentalmente si queremos desarrollar la fuerza explosiva.

Este método es igualmente aplicable no sólo al número de repeticiones a realizar en 1 serie, sino también al número de series de un ejercicio y al descanso entre las distintas series. Es posible que un deportista sea capaz de mantener una potencia óptima de entrenamiento en la ejecución de 1 serie, pero se observa una reducción progresiva de la velocidad de ejecución conforme se incrementa el número de series, sea por un elevado volumen de entrenamiento, sea por un descanso entre series incompleto.

El desarrollo de las nuevas tecnologías nos permite disponer de aparatos relativamente baratos y sencillos de utilizar con los que podemos programar el entrenamiento en función de la potencia desarrollada y no sólo en función del número de repeticiones. Así, cada deportista ejecutará en cada serie el número de repeticiones en las que mantiene la potencia mínima que nosotros previamente hemos establecido. A este respecto, se ha extendido el uso del **encoder lineal**, que mediante un dispositivo electrónico que detecta el espacio recorrido en función del tiempo nos permite derivar variables tan importantes como la velocidad de desplazamiento, la aceleración, la fuerza y la potencia.

Parece razonable que, incluso a la espera de la aportación de más trabajos

de investigación, el número de repeticiones, el descanso entre las series y el número de series por ejercicio deben ser controlados específicamente para cada deportista de forma asidua en sus entrenamientos, dado que los resultados de los estudios sólo pueden ser transferidos a la población objeto de estudio, y es de esperar grandes diferencias inter e intraindividuales en el mantenimiento de la potencia mecánica.

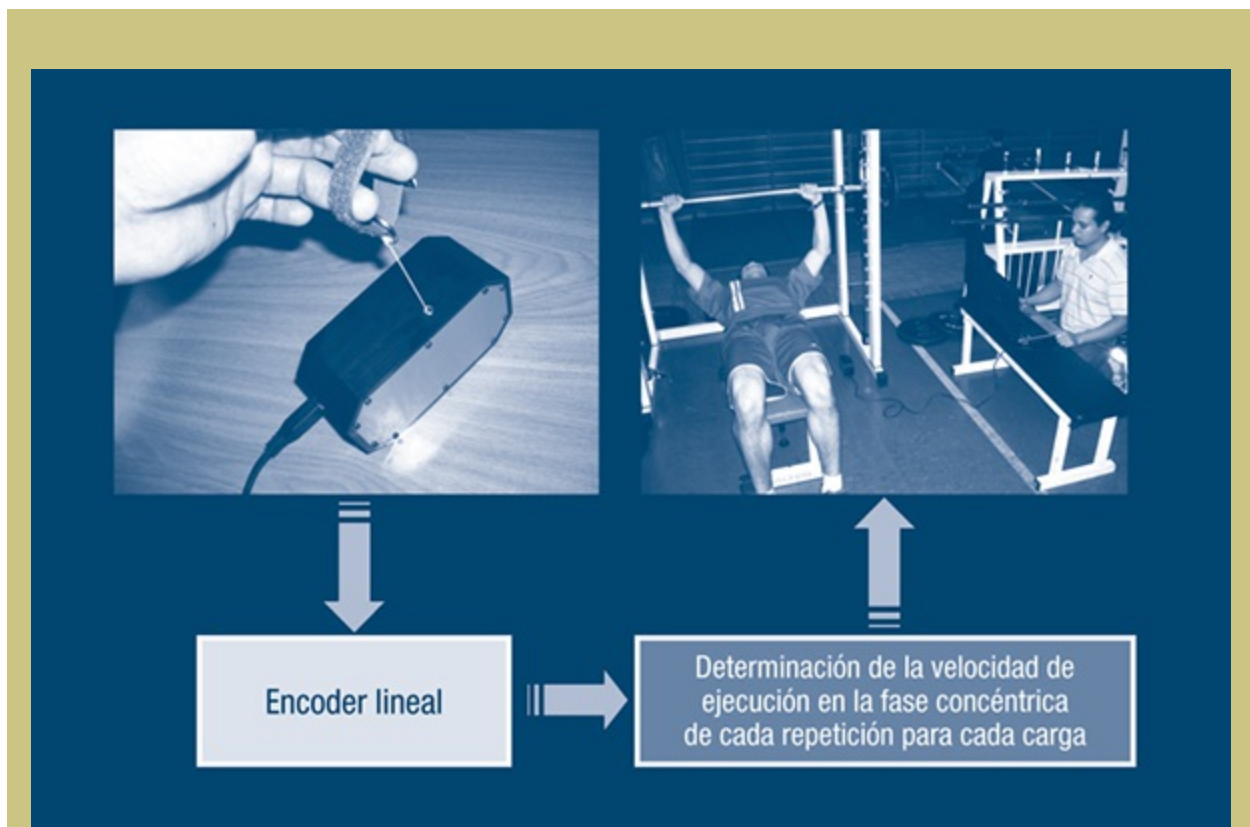


FIGURA 3.51. Utilización del encoder para medir la velocidad de ejecución de las repeticiones. Se ha resaltado la importancia de medir mediante un encoder lineal la velocidad de ejecución en las sesiones de entrenamiento. En esta figura se muestra que el encoder es un sencillo instrumento que, colocando la anilla sobre la barra, nos permite, mediante el desplazamiento en el tiempo del hilo, determinar la velocidad, la fuerza y la potencia de cada repetición. El encoder está conectado a un ordenador que aporta la información simultáneamente a la ejecución del ejercicio, e incluso se puede programar previamente para que nos avise cuando la velocidad de ejecución haya disminuido un determinado porcentaje.

Original de los autores con permiso del deportista.

El entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica requiere una velocidad de movimiento máxima y entrenar

sin llegar al fallo muscular. Ambas variables se han considerado en el diseño de los programas de entrenamiento y en los trabajos de investigación. Además, las conclusiones relacionadas con la velocidad de movimiento (Pereira y Gomes, 2003) y con el entrenamiento realizado o no hasta el fallo muscular (Izquierdo *et al.*, 2006b) son contradictorias. Desde esta perspectiva, el principal objetivo que debe ser valorado en los **trabajos de investigación** es si, respecto al entrenamiento tradicional, el entrenamiento basado en el mantenimiento de la potencia mecánica y otros programas innovadores como el descanso entre repeticiones propuesto por Lawton *et al.*, (2006) inducen un incremento superior en la velocidad de ejecución de las acciones motrices específicas. Únicamente conocemos un estudio (Izquierdo *et al.*, 2006b) que haya comparado en un diseño periodizado los efectos diferenciales del entrenamiento con sobrecargas conducente o no hasta el fallo muscular sobre el incremento de la fuerza y potencia. En ambos programas de entrenamiento los deportistas ejecutaron las repeticiones a la máxima velocidad posible. Los autores mostraron que entrenar sin llegar al fallo muscular proporciona condiciones más favorables para el desarrollo de la potencia muscular. Sin embargo, no determinaron los efectos diferenciales sobre la velocidad de tareas motrices específicas. Además, el tiempo de intervención no fue excesivamente largo (16 semanas) y las diferencias encontradas entre ambos programas fueron muy pequeñas. Esto implica la necesidad de realizar estudios controlados de larga duración que permitan determinar los **efectos diferenciales de distintos programas** de entrenamiento con sobrecargas, en función de todas las posibles manipulaciones de la velocidad de ejecución y del número de repeticiones ejecutadas, **sobre la velocidad de ejecución de tareas competitivas**. Es posible que los efectos de los diferentes programas de entrenamiento con sobrecargas estén relacionados con el nivel de fuerza de los deportistas. En consecuencia, puede ser también de interés probar los programas con diferentes grupos de deportistas.

Volumen en una sesión

En la prescripción de programas de entrenamiento con sobrecargas, las variables asociadas al **volumen** vienen determinadas por el número de repeticiones por serie, el número de series por ejercicio y por sesión, el número de ejercicios por sesión y el número de sesiones por semana. Las

variaciones que podemos realizar en el **número de repeticiones por serie** son limitadas, porque están determinadas previamente en función de la relación entre la intensidad de trabajo deseada y el mantenimiento de la potencia mecánica.

El número de series por sesión está determinado tanto por el **número de series por ejercicio** o grupo muscular como fundamentalmente por el **número de ejercicios realizados**. Se han establecido previamente detalles sobre el número óptimo de ejercicios asociados a la mejora del rendimiento deportivo. El **número de sesiones por semana** es indicativo de la frecuencia de entrenamiento que analizaremos posteriormente.

Este análisis evidencia que la variable asociada al volumen de entrenamiento más relevante en la prescripción de programas de entrenamiento con sobrecargas es el **número de series por ejercicio y grupo muscular**. Berger (1962) sugirió por primera vez que el efecto del entrenamiento es superior cuando se ejecutan varias series por grupo muscular respecto a 1 serie. A este respecto, Kraemer y Ratamess (2004) establecen que el número de series seleccionadas por ejercicio depende del objetivo de entrenamiento, siendo lo más común ejecutar de 3 a 6 series. Sin embargo, estudios que emplearon un mayor o menor número de series también han mostrado su efectividad, existiendo actualmente una gran controversia entre los distintos trabajos de investigación.

Varias revisiones de la literatura que compararon las respuestas del entrenamiento de una o varias series por ejercicio han concluido que existe similar incremento de fuerza e hipertrofia muscular, y que hay poca evidencia científica para dar soporte al uso de varias series (Carpinelli, 2002; Feigenbaum y Pollock, 1999; Carpinelli y Orro, 1998).

El trabajo de revisión realizado por Carpinelli y Orro (1998) fue duramente criticado por Byrd *et al.*, (1999), quienes consideran que los autores realizaron una mala interpretación de numerosos estudios y que, por tanto, sus conclusiones son erróneas. Trabajos posteriores apoyan la tesis de la realización de varias series por ejercicio. Rhea *et al.*, (2003), a partir de un metaanálisis, observaron que 4 series por ejercicio incrementan el doble la fuerza respecto a 1 serie. Galvão y Taaffe (2004) dieron cuenta de que siete de las 8 investigaciones realizadas posteriormente a la revisión de Carpinelli y Orro (1998) demostraron un incremento adicional de fuerza realizando más de 1 serie por ejercicio.

A este respecto, podemos añadir las conclusiones de los trabajos originales

más recientes. Por una parte, Munn *et al.*, (2005), en un estudio controlado (véase la figura 3.39), observaron que en sujetos no entrenados un período de entrenamiento muy corto (6 semanas) permite casi el doble de incremento de fuerza (48%) con la ejecución de 3 series por ejercicio que con 1 serie. Estos resultados fueron verificados posteriormente por Kelly *et al.*, (2007). Es de esperar que si en sujetos no entrenados el incremento de fuerza es superior realizando un mayor número de series, en deportistas de alto nivel, con su reserva actual muy próxima a su potencial genético, se requerirá un volumen superior. Por otra parte, González-Badillo *et al.*, (2005) demostraron que en deportistas júnior de halterofilia un moderado volumen de entrenamiento, correspondiente aproximadamente al 85% del máximo volumen de tolerancia, consiguió mejoras más evidentes que trabajar con volúmenes más bajos y elevados. El mismo grupo de investigación demostró que en esta población de deportistas un volumen moderado de entrenamiento a alta intensidad (>90% 1RM) durante un período de 10 semanas consiguió un mayor aumento del rendimiento en los ejercicios específicos de competición que volúmenes bajos y elevados (González-Badillo *et al.*, 2006). Sin embargo, estas interesantes aportaciones sólo son aplicables a la población objeto de estudio, siendo de interés verificar estos resultados en períodos de entrenamiento de mayor duración y especialmente en deportistas de elite.

De acuerdo con Peterson *et al.*, (2005), las diferencias y deficiencias de los diseños de investigación son los que probablemente han inducido a resultados dispares. Estos autores presentaron gráficamente los resultados obtenidos en 2 metaanálisis realizados sobre la base de los datos aportados en casi 200 estudios originales, identificando la influencia del número de series por grupo muscular en función del nivel del deportista (Peterson *et al.*, 2004; Rhea *et al.*, 2003) (figura 3.52). Como se observa en la figura 3.52, de acuerdo con la influencia que el entrenamiento tiene en función de la reserva actual de los deportistas, el **volumen óptimo de entrenamiento** depende de la **experiencia previa del deportista**, obteniéndose los mayores incrementos de fuerza con la realización de 4 series por grupo muscular en sujetos no entrenados y moderadamente entrenados y con 8 series en sujetos entrenados.

Un aspecto considerado de especial relevancia en la determinación del volumen óptimo de entrenamiento es la **modificación de los niveles de testosterona** durante la sesión. Particularmente interesante es la relación encontrada por Bosco *et al.*, (2000) entre los cambios del nivel hormonal y la actividad neuromuscular en 1 sesión de entrenamiento con sobrecargas. Los

autores establecieron en un grupo de velocistas una relación negativa entre los cambios de la concentración de testosterona y la proporción EMG/potencia (medida de eficiencia) durante la ejecución del ejercicio de media sentadilla. Esto implica que a medida que aumentaba la duración del entrenamiento la disminución del nivel de testosterona requirió una mayor activación neuronal para mantener los niveles de potencia. Esta observación determina que un nivel adecuado de testosterona durante el entrenamiento puede compensar el efecto de la fatiga, asegurando una mejor eficiencia neuromuscular en las fibras rápidas, que compensa probablemente en parte la alteración existente debido a la reducción de la sensibilidad de los elementos contráctiles para el calcio. Similar asociación encontraron los autores para los fisicoculturistas (figura 3.53), demostrando que la disminución de los niveles de testosterona induce una actividad neuronal superior para poder conservar la misma potencia muscular.

En consecuencia, conocer la modificación de los niveles de testosterona durante una sesión de entrenamiento con sobrecargas puede ser determinante para establecer el volumen óptimo de entrenamiento. Los mencionados autores establecieron los cambios de la testosterona en suero después de una sesión de entrenamiento con sobrecargas en 1 grupo de fisicoculturistas (12 series de 8-12 repeticiones, 70-75% 1RM, 65-75% de la máxima potencia, 1-2 min de descanso entre series, ejercicios: media sentadilla, prensa de piernas y extensiones de pierna) y en 2 grupos de halterófilos que realizaron distinto volumen de trabajo: grupo A (20 series de 2-4 repeticiones, 50-70% 1RM, 100% de la potencia máxima, 2-3 min de descanso entre series, ejercicios: olímpicos y sus variantes), y grupo B (10 series de 3-5 repeticiones, 60-80% 1RM, 100% de la potencia máxima, 3-5 min de descanso entre series, ejercicios: olímpicos y sus variantes) (figura 3.54). Los resultados establecen una clara relación entre el volumen de entrenamiento y la respuesta hormonal. En el grupo de halterófilos que realizó un elevado número de repeticiones en la sesión de entrenamiento se encontró un aumento significativo de los niveles de testosterona, mientras que apenas se observó variación en los halterófilos que realizaron un volumen de entrenamiento bajo. En cambio, en el grupo de fisicoculturistas, que ejercitaron el mayor volumen de entrenamiento, se presentó una disminución drástica de los niveles de testosterona al terminar el entrenamiento. Como la intensidad relativa de entrenamiento fue semejante en los 3 grupos (~60-70% 1RM), cabe deducir que estas diferencias notables en la respuesta hormonal están

asociadas al volumen de entrenamiento: fisicoculturistas (~120 repeticiones), halterófilos con ejecución de alto volumen (~60 repeticiones) y halterófilos con ejecución de bajo volumen (~25 repeticiones). Un volumen elevado de trabajo está relacionado con una inhibición de los niveles de testosterona y, por tanto, con menor eficiencia neuromuscular, mientras que un volumen muy bajo no es suficiente para estimular la respuesta hormonal. Estos resultados apoyan, desde una perspectiva hormonal, la existencia de un **umbral en el volumen de entrenamiento óptimo**, determinándose, de acuerdo con las conclusiones de González-Badillo *et al.*, (2005), que un **volumen moderado** puede ser el óptimo en la programación de 1 sesión de entrenamiento con sobrecargas.

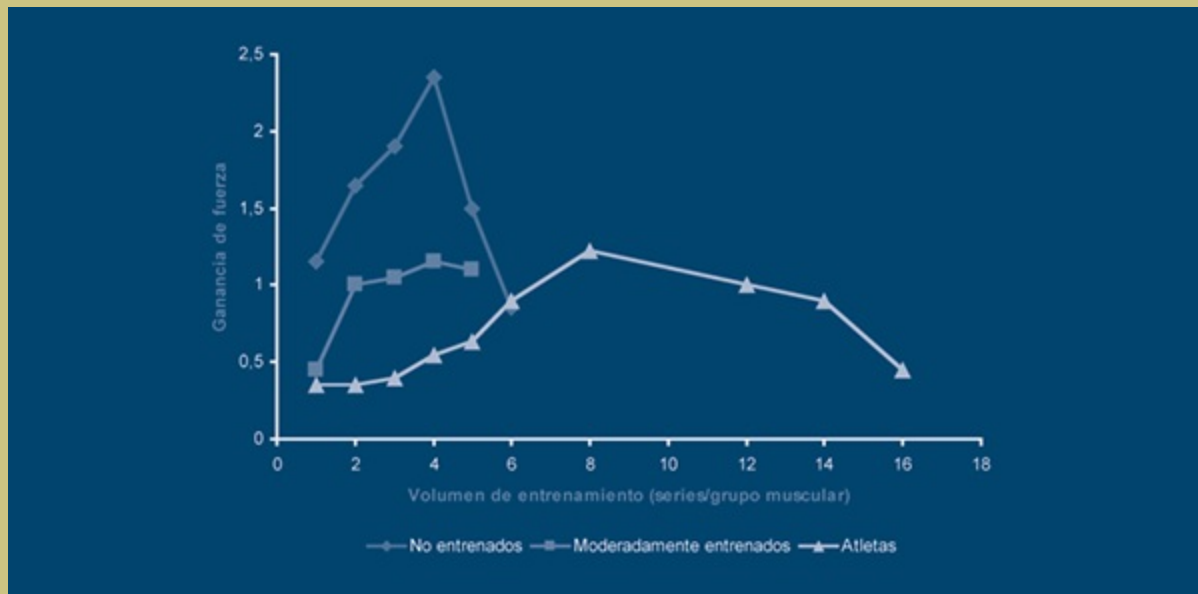


FIGURA 3.52. Número de series por grupo muscular óptimo para el desarrollo de la fuerza máxima en función del nivel de entrenamiento previo de los deportistas. Es importante ajustar los componentes del entrenamiento a la reserva actual de los deportistas. En esta figura se observa que el número óptimo de series que permiten más ganancia de fuerza es mayor conforme aumenta el nivel de los deportistas. Asimismo, el incremento de fuerza es menor cuanto mayor es el nivel de los deportistas.

Adaptado de Peterson MD et al. J Strength Cond Res 2005;19:950-8.

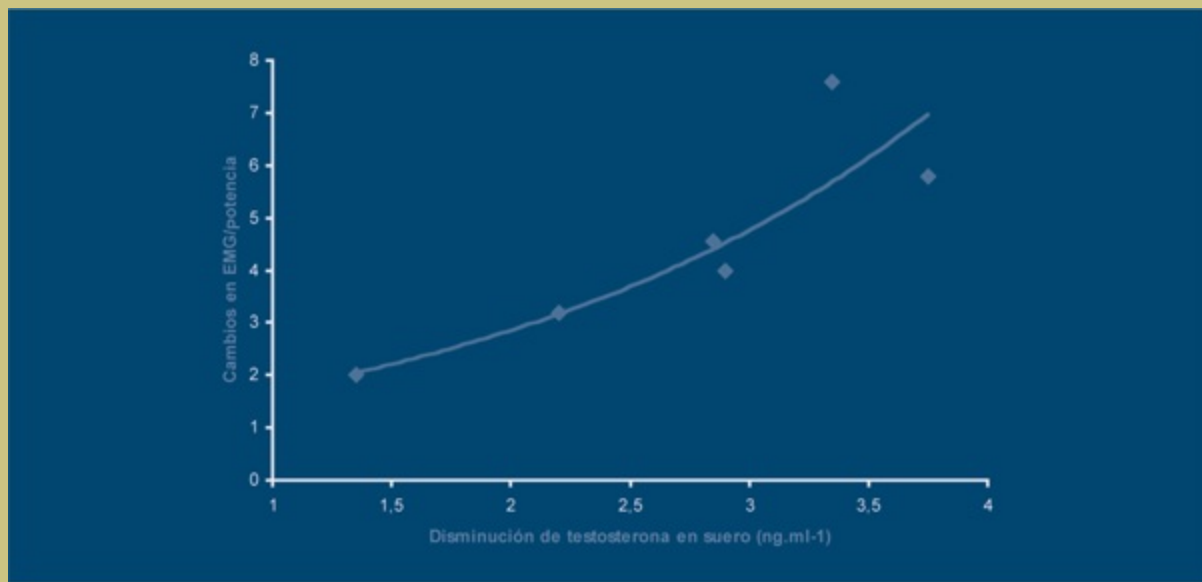


FIGURA 3.53. Relación entre los cambios del ratio EMG/potencia registrado en fisicoculturistas durante la ejecución de media sentadilla y el descenso de testosterona después de una sesión de entrenamiento. Al disminuir los niveles de testosterona es necesaria una mayor activación muscular (medida mediante electromiografía, EMG) para desarrollar la misma potencia. Estos datos sugieren que el descenso de testosterona está asociado a una menor eficiencia en la manifestación de fuerza. La disminución de testosterona durante el entrenamiento con sobrecargas está asociada a sesiones de entrenamiento de excesivo volumen. Considérese, por tanto, la importancia de realizar sesiones de entrenamiento relativamente cortas.

Adaptado de Bosco C et al. Med Sci Sports Exerc 2000;32:202-8.

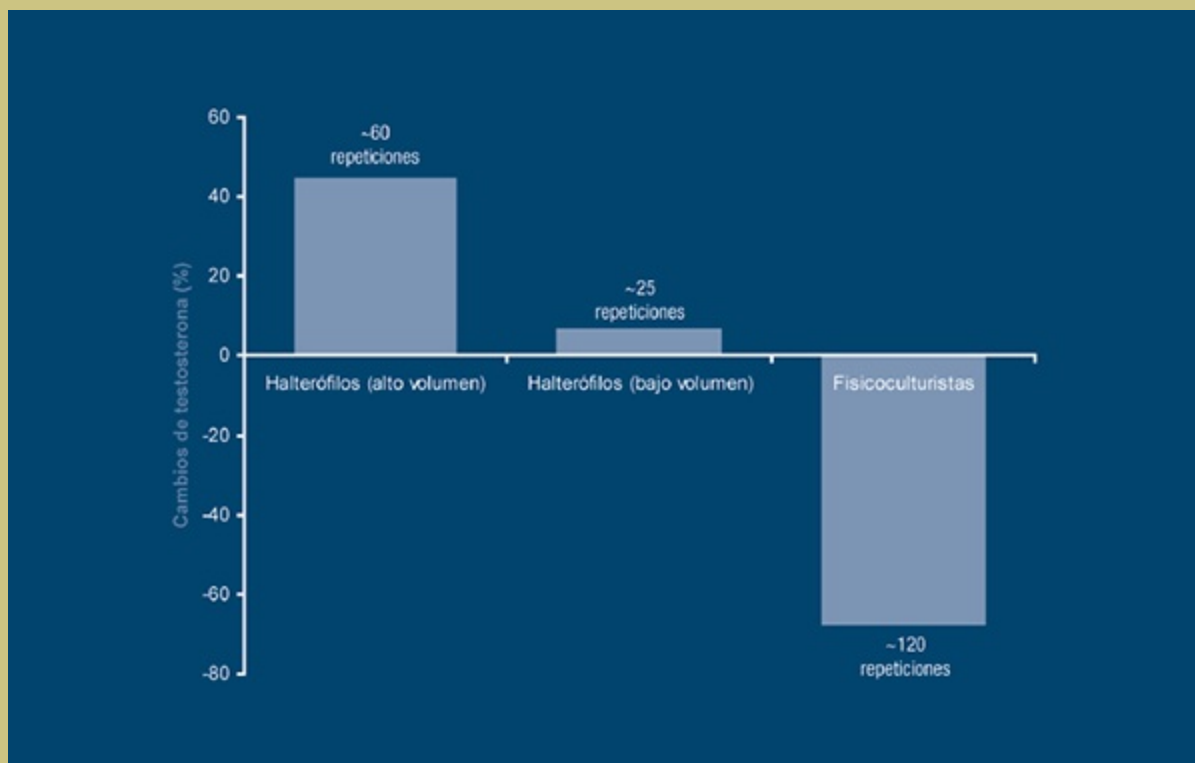


FIGURA 3.54. Modificación de los niveles de testosterona en respuesta a una sesión de entrenamiento con sobrecargas en 3 grupos de deportistas que realizaron distinto volumen de entrenamiento. En los fisicoculturistas que realizaron un volumen de entrenamiento muy elevado se evidencia un descenso acusado de los niveles de testosterona. En ambos grupos de halterófilos se objetiva un incremento de los niveles de testosterona, siendo significativamente superior en el grupo que realizó un volumen de entrenamiento más elevado, aunque muy inferior al realizado por los fisicoculturistas. Considerando la importancia de los niveles de testosterona sobre la eficiencia del entrenamiento de fuerza, un volumen de entrenamiento moderado puede ser la estrategia más adecuada en el entrenamiento con sobrecargas. No se debe obviar en estos resultados que, aunque la intensidad relativa fue equiparable, los fisicoculturistas realizaron un entrenamiento tradicional de hipertrofia y los halterófilos un entrenamiento orientado al desarrollo de la potencia máxima. El número de repeticiones establecido como óptimo en este estudio no puede aplicarse a deportistas de otras modalidades deportivas y con distinta experiencia en el entrenamiento de fuerza.

Adaptado de Bosco C et al. Med Sci Sports Exerc 2000;32:202-8.

Los resultados de los trabajos de investigación expuestos nos indican que el volumen óptimo de 1 sesión de entrenamiento con sobrecargas es dependiente del nivel del deportista, y que un volumen relativamente no elevado puede tener los efectos más beneficiosos para inducir las adaptaciones asociadas a la manifestación de fuerza explosiva. En este

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

sentido, puede ser una estrategia apropiada realizar 2 sesiones al día para aquellas modalidades deportivas que requieren el trabajo de un mayor número de grupos musculares. Independientemente, hay que considerar que el **volumen óptimo de entrenamiento** para el desarrollo de la fuerza explosiva debe estar condicionado a que se mantenga un **nivel óptimo de potencia en cada serie** de repeticiones. En este sentido, no existe ningún trabajo que haya determinado el patrón de disminución de la velocidad durante la ejecución de un número determinado de series, ni su relación con distintos períodos de recuperación entre series. Lógicamente, disponer de un **encoder** durante la realización de las sesiones de entrenamiento es el método más apropiado para determinar el número óptimo de series que debe ejecutar cada uno de los deportistas. En su defecto, el número de series establecidas en el metaanálisis de Peterson *et al.*, (2005) en función del nivel del deportista y la observación subjetiva de la velocidad de ejecución de las repeticiones deben servir de orientación para programar el volumen de 1 sesión de entrenamiento con sobrecargas. De acuerdo con estos datos, en deportistas con previa experiencia en el entrenamiento de fuerza, la ejecución de 8 series distribuidas en 2 ejercicios principales dirigidos a un determinado grupo muscular puede servir como criterio de referencia para el entrenamiento tradicional con sobrecargas. Como el **entrenamiento basado en el mantenimiento de la potencia mecánica** precisa hacer un **menor número de repeticiones** en cada una de las series para una intensidad de **1-12RM**, puede ser razonable un **mayor número de series** que las tradicionalmente realizadas para este intervalo de intensidad con el propósito de equilibrar el volumen de entrenamiento, puesto que las diferencias del volumen influyen en el rendimiento (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Esto implica que, si tradicionalmente se hacen para un determinado ejercicio 4 series de 6 repeticiones hasta el fallo muscular, debido a que para esta intensidad de carga únicamente se recomienda hacer un máximo de 3 repeticiones, para mantener la potencia mecánica puede ser coherente la ejecución de 8 series de 3 repeticiones, equilibrando de esta manera el número total de repeticiones del ejercicio. Sin embargo, hay que considerar que actualmente se desconoce el efecto fisiológico y psicológico que implica la ejecución del mismo número de repeticiones a diferente velocidad de movimiento.

Descanso entre series y ejercicios

La duración del período de **descanso entre series y ejercicios** es determinante para mantener una elevada **potencia mecánica**. El período de descanso es dependiente fundamentalmente del objetivo del entrenamiento, de la intensidad relativa y del estatus de entrenamiento del deportista. Debemos considerar que el tiempo de descanso va a determinar el grado de **reposición de ATP y PCr**, así como la eliminación de productos finales del metabolismo como el lactato y el retorno a niveles de reposo de la excitación de la membrana del músculo.

Aunque para cada intensidad de entrenamiento se haya seleccionado adecuadamente el número de repeticiones que permite mantener una elevada potencia mecánica, un descanso insuficiente conduce inevitablemente a que, en las series sucesivas, la potencia disminuya progresivamente. Esto determina que el metabolismo anaeróbico láctico va a ser preferencial para el requerimiento energético y que se solicite progresivamente el reclutamiento de fibras lentas orientando la sesión de entrenamiento al desarrollo de la fuerza resistencia. Lógicamente, la única forma de **controlar el descanso** entre las series es observando mediante el **encoder** que la duración ha sido suficiente para mantener la potencia mecánica deseada. Las **recomendaciones aportadas por los distintos autores** deben ser consideradas como un criterio teórico de referencia debido a que actualmente no hay estudios controlados que hayan determinado el patrón de la velocidad de ejecución de las repeticiones durante la ejecución de continuas series con distintos períodos de descanso a diferentes intensidades de carga. Únicamente Abdessemed *et al.*, (1999) observaron que un período de descanso de 3 y 5 min es suficiente para mantener la potencia de ejecución de 10 series de 6 repeticiones al 70% 1RM (~12RM) en el ejercicio de prensa de pecho, mientras que un período de 1 min causó un descenso progresivo de la potencia durante la ejecución de las continuas series, e incluso un 60% de los sujetos fueron incapaz de completar la sesión de entrenamiento (figura 3.55).

Los autores mostraron que durante un período de descanso de 1 min el descenso de la potencia se relacionó significativamente con la elevación de la concentración de lactato. La mayor concentración de lactato es reflejo del incremento de la participación del metabolismo anaeróbico láctico en el requerimiento energético, probablemente como consecuencia de un tiempo insuficiente de recuperación de los depósitos de PCr. Aunque los resultados de este estudio pueden servir de referencia, hay que considerar que fue realizado con estudiantes de educación física y que, como se ha especificado

anteriormente, la información aportada por los autores respecto a si las repeticiones fueron realizadas a la velocidad máxima es confusa.

La mayoría de los trabajos establecen un descanso entre series de 3 a 5 min para una intensidad de 1-6RM (~100-85% 1RM), de 1 a 2 min para una intensidad de 6-12RM (~85-70% 1RM) y de 1 a 3 min para una intensidad de 12-26RM (~70-30% 1RM) (Bird, 2005; Crewther *et al.*, 2005; Kraemer y Ratamess, 2004). Un período de descanso de **3 a 5 min** entre series puede considerarse óptimo para mantener la potencia mecánica debido a que este intervalo de tiempo es necesario para una **resíntesis completa de los depósitos de PCr** (Fleck, 1983; Harris *et al.*, 1976).

Probablemente los autores recomiendan un descanso inferior entre las series ejecutadas para el desarrollo de la fuerza explosiva con una intensidad del 30-70% 1RM, ya que el requerimiento energético de PCr es inferior que en intensidades superiores debido a la menor intensidad relativa de la carga. Un período de descanso entre series inferior para una intensidad de 6-12RM está justificado porque una recuperación incompleta ocasiona una mayor participación del metabolismo anaeróbico láctico, que se considera un estimulador de las hormonas anabólicas, dando lugar a un mayor desarrollo de hipertrofia muscular, objetivo final del entrenamiento tradicional a este nivel de intensidad (Kraemer, 1997). Sin embargo, Ahtiainen *et al.*, (2005) no encontraron diferencias significativas en la magnitud de la respuesta hormonal y neuromuscular ni en las adaptaciones de la fuerza y de hipertrofia muscular entre 2 grupos de sujetos con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza que realizaron durante 6 meses un entrenamiento tradicional de hipertrofia muscular (10RM), diferenciándose exclusivamente en el tiempo de descanso entre series (2 vs. 5 min).

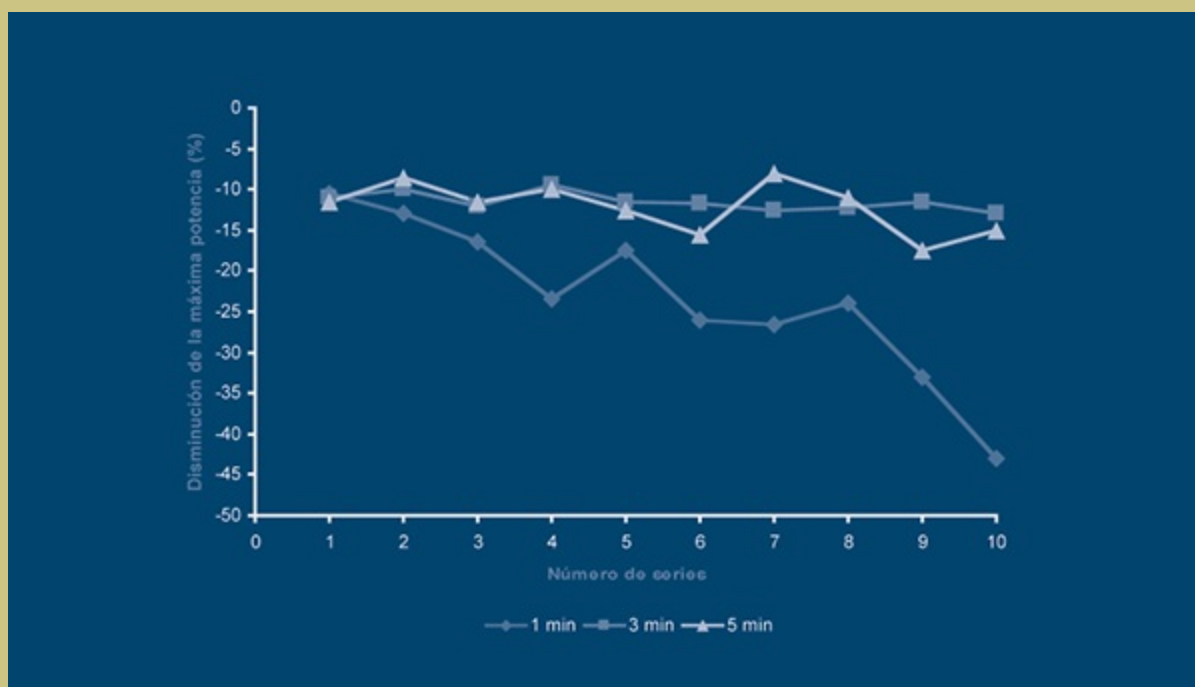


FIGURA 3.55. Disminución de la potencia durante la ejecución de 10 series de 6 repeticiones de prensa de pecho al 70% 1RM (~12RM) en función del tiempo de recuperación. Durante la ejecución de sucesivas series del máximo número de repeticiones en que se puede mantener la potencia máxima (en este ejemplo, ejecución de sólo 6 repeticiones para una intensidad de 12RM), la potencia de la serie se mantiene en niveles óptimos si el descanso es de 3 a 5 min. Este intervalo de descanso puede considerarse adecuado debido a que permite restaurar los niveles de PCr. Considérese, sin embargo, las limitaciones de este estudio (véase el texto) y la necesidad de hacer el análisis con distintas intensidades.

Adaptado de Abdessemed D et al. Int J Sports Med 1999;20:368-73.

También hay que considerar que existen estudios que han determinado que para una intensidad de 6-12RM, ejecutando el máximo número de repeticiones, ni tan siquiera un descanso de 5 min permite ejecutar con el mismo peso el número de repeticiones establecido (Willardson y Burkett, 2005) (figura 3.56). Además, como se observa en la figura 3.56, el descenso del número de repeticiones depende del ejercicio ejecutado, probablemente asociado a la cantidad de masa muscular involucrada. Estos resultados fueron confirmados por los mismos autores para el ejercicio de prensa de pecho, al observar una disminución muy acusada del número de repeticiones al realizar 5 series al 80% 1RM con tiempos de descanso de 1, 2, y 3 min (Willardson y Burkett, 2006b). No obstante, el período óptimo de descanso varía

sustancialmente en función del nivel de los sujetos. Así, en el mencionado estudio de Kraemer, los deportistas fueron capaces de mantener una intensidad de 10RM durante 3 series con sólo 3 min de descanso.

En esta línea, en sujetos experimentados en el entrenamiento con sobrecargas, Ratammes *et al.*, (2007) observaron que, para mantener el mismo peso durante la ejecución sucesiva de series, se requiere para una intensidad de 5RM un descanso de 5 min para ejecutar 5 series, 3 min para ejecutar 3 series y 2 min para ejecutar 2 series. Para una intensidad de 10RM, es posible mantener el mismo peso durante 4 series cuando el descanso entre series es 5 min, pudiendo realizarse para un descanso de 3 y 2 min un total de 3 y 2 series, respectivamente. Hay que considerar, sin embargo, que el mantenimiento de la carga no implica directamente mantener la potencia desarrollada en las sucesivas series.

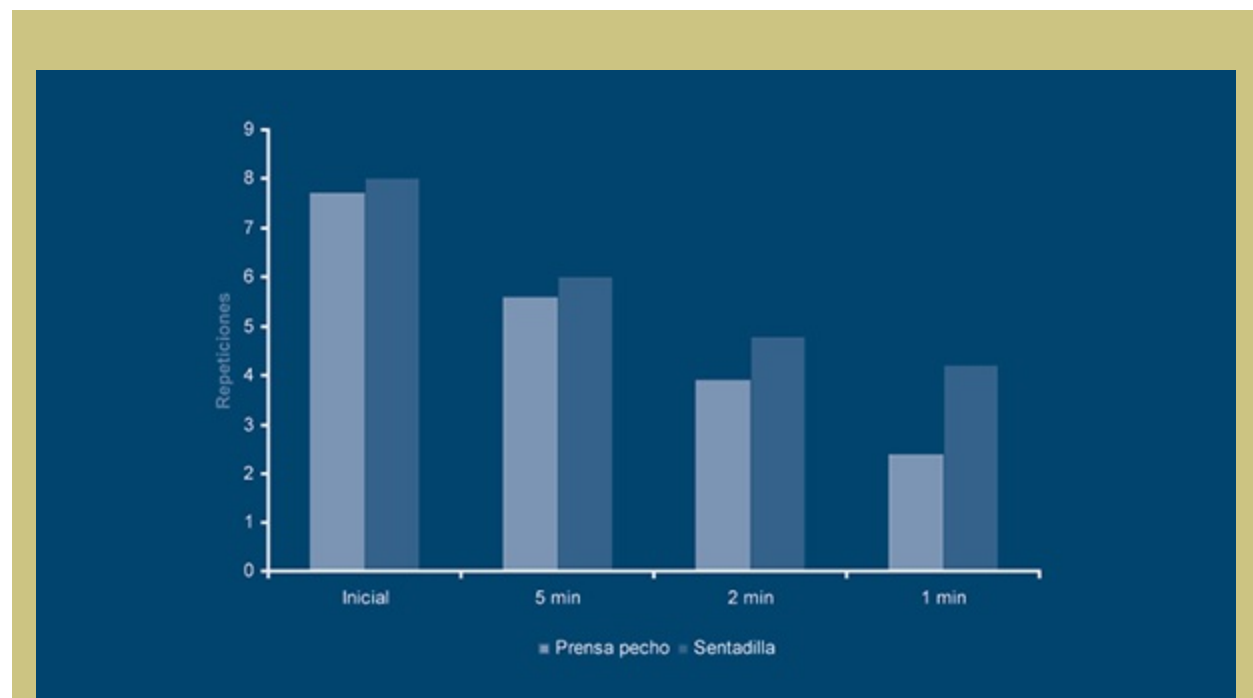


FIGURA 3.56. Disminución del número de repeticiones a una intensidad de 8RM entre la 1ª y 4ª serie en función del ejercicio y del tiempo de recuperación. Una vez seleccionado el peso correspondiente a una determinada intensidad (en este caso 8RM), si se ejecuta el máximo número de repeticiones posibles, además de que lógicamente no se puede mantener la potencia máxima en sucesivas series, el máximo número de repeticiones disminuye significativamente, incluso con períodos de descanso de 5 min. El descenso del número de repeticiones es más acusado en prensa de pecho que en sentadilla. Este entrenamiento, característico de la concepción tradicional para una intensidad de 6-12RM, es inherente a una velocidad de ejecución muy lenta y aumenta progresivamente en las sucesivas series la participación de fibras más lentas, pudiendo

ser causa de la conversión del tipo de fibra muscular.

Elaborado con datos de Willardson JM y Burkett LN. J Strength Cond Res 2005;19:23-6.

A falta de estudios que determinen el **descanso entre series** necesario para mantener a distintos niveles de intensidad una potencia mecánica óptima, consideramos que, **independientemente de la intensidad**, si nuestro objetivo es el desarrollo de la fuerza explosiva, el período de descanso debe ser el mismo, de **3 a 5 min**, debido a que teóricamente la ejecución del máximo número de repeticiones a la máxima velocidad de ejecución para cada intensidad puede causar la misma depleción de los depósitos de PCr, concentración de lactato y fatiga neural. No obstante, futuros estudios deben probar esta hipótesis y determinar la influencia del tipo de ejercicio y el nivel de rendimiento de los deportistas.

Frecuencia de entrenamiento semanal

Al contrario de lo observado para otros componentes del entrenamiento, en el mencionado metaanálisis de Peterson *et al.*, (2005) no se establece una relación entre el nivel del deportista y la **frecuencia óptima de entrenamiento semanal** (figura 3.57). No obstante, según esta recopilación de estudios, puede considerarse óptima una frecuencia de **2-3 días a la semana** de entrenamiento con sobrecargas.

Hay que considerar que la frecuencia óptima de entrenamiento **depende de numerosos factores**. Por ejemplo, como previamente se ha especificado, dividir el volumen de 1 sesión de entrenamiento en 2 sesiones en el mismo día puede ser aconsejable en deportistas que requieren un elevado desarrollo de la fuerza en la mayoría de los grupos musculares. El razonamiento sugerido es que sesiones cortas y más frecuentes, seguidas de períodos de recuperación y suplementación, permiten realizar un entrenamiento a mayor intensidad y obtener mayor ganancia de fuerza e hipertrofia muscular (Häkkinen y Kallinen, 1994). Fundamentalmente, la frecuencia óptima de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva depende de los factores de rendimiento asociados a las distintas modalidades deportivas, el momento de la temporada, el calendario de competición y la fatiga acumulada. Por ejemplo es factible una mayor frecuencia de entrenamiento con sobrecargas en modalidades deportivas en las que gran parte de la variabilidad del rendimiento está determinada por los niveles de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

fuerza explosiva manifestados en el gesto específico de competición (p. ej., saltos, lanzamientos y levantamientos) que en modalidades deportivas que requieren el desarrollo de diversos factores de rendimiento (p. ej., deportes de equipo y de raqueta). También hay que considerar que, aunque el entrenamiento con sobrecargas es un método que permite un mayor desarrollo de la fuerza explosiva en las acciones motrices específicas, el estado óptimo de prestación únicamente es posible con la transferencia de la fuerza desarrollada mediante la ejecución de ejercicios específicos de competición. Desde esta perspectiva, la mayor frecuencia de entrenamiento con sobrecargas debe realizarse en los períodos de la planificación más alejados de la competición, y la mayor frecuencia de los métodos específicos, en los períodos próximos a las competiciones principales. En este sentido, es menos factible una elevada frecuencia de entrenamiento con sobrecargas durante el período competitivo en modalidades deportivas que requieren un estado óptimo de prestación durante la mayor parte de la temporada (p. ej., deportes de equipo). Independientemente de todos estos factores, la frecuencia de entrenamiento con sobrecargas con el objetivo de desarrollar los niveles de fuerza explosiva debe estar siempre condicionada al nivel de fatiga de los deportistas. No parece adecuado proponer una sesión para desarrollar la fuerza explosiva si la fatiga de entrenamientos previos no permite manifestar la máxima potencia asociada a los distintos niveles de intensidad de carga. Aunque para este objetivo puede establecerse un período aproximadamente de 48 h sin ejecutar sesiones de entrenamiento asociadas a una gran fatiga, únicamente la valoración de los niveles de fuerza explosiva nos puede aportar la información de que el período de recuperación ha sido el adecuado. Para ello es suficiente con verificar que el deportista manifiesta sus niveles habituales de altura en un salto o de potencia en la ejecución de las repeticiones en un ejercicio con sobrecargas.

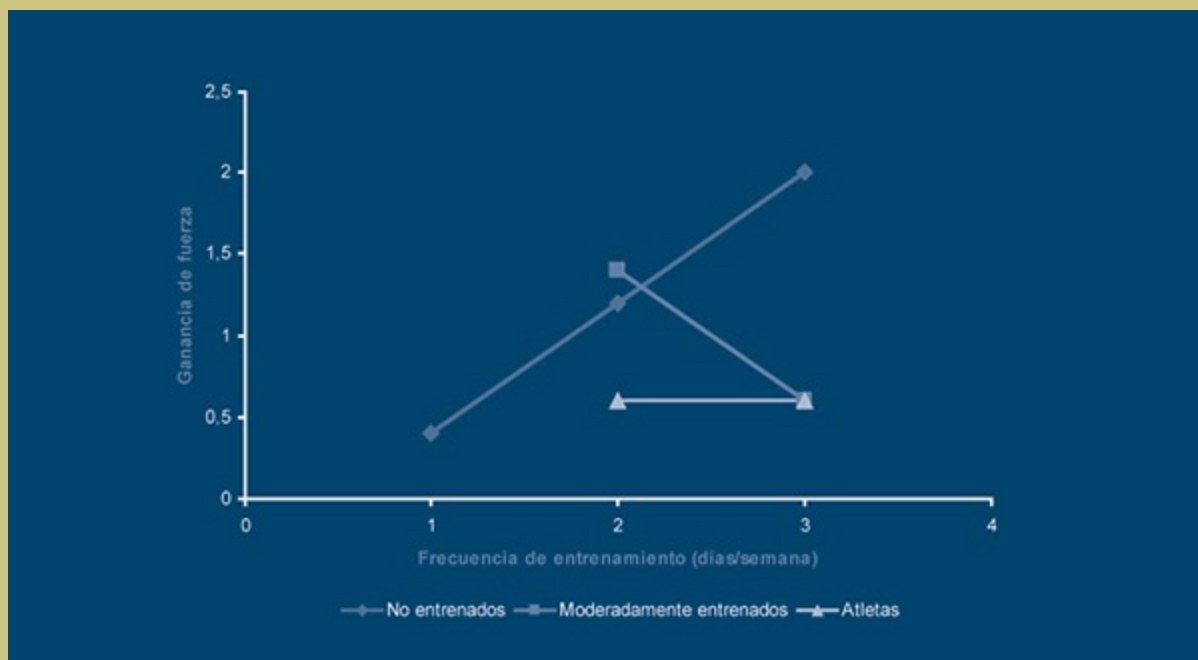


FIGURA 3.57. Frecuencia óptima de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la máxima fuerza en función del nivel de entrenamiento previo de los deportistas. En sujetos no entrenados es mejor distribuir el volumen de entrenamiento semanal en un mayor número de sesiones, considerando la necesidad de aplicar cargas regulares que induzcan sucesivas supercompensaciones positivas. Sin embargo, en sujetos más entrenados un incremento de la frecuencia de entrenamiento no permite mayor ganancia de fuerza e incluso puede ser perjudicial. El incremento de fuerza es menor cuanto mayor es el nivel de los deportistas. Véase, con la ayuda del texto, que la frecuencia óptima de entrenamiento depende de numerosos factores y que, además, estos resultados corresponden a un metaanálisis de diferentes estudios con numerosos factores no controlados.

Adaptado de Peterson MD et al. J Strength Cond Res 2005;19:950-8.

Métodos de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de fuerza explosiva

La estructuración del entrenamiento con sobrecargas en distintos métodos de trabajo implica establecer un recetario y apostar por una determinada combinación de los componentes de entrenamiento que puede considerarse didácticamente y a nivel práctico como una herramienta útil. Sin embargo, como en todas las clasificaciones de métodos de trabajo, el entrenador debe tener el suficiente conocimiento para permitir adaptar a las distintas situaciones específicas las propuestas establecidas. Además, hay que

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

considerar que definirse por una determinada filosofía en el entrenamiento con sobrecargas supone una tarea arriesgada debido a las numerosas hipótesis que actualmente no están demostradas científicamente.

La definición de los **métodos de entrenamiento con sobrecargas** para el desarrollo de la fuerza explosiva requiere determinar la **combinación óptima de los distintos componentes del entrenamiento**. Debido al análisis específico realizado para cada uno de los componentes, esto supone una tarea sencilla que puede realizar el lector como un ejercicio para determinar el grado de asimilación de los contenidos explicados.

Aunque es posible enumerar una gran variedad de métodos de entrenamiento en función de las distintas posibles combinaciones de los distintos componentes del entrenamiento, únicamente hemos incluido métodos de trabajo cuyo criterio común es el **mantenimiento de la potencia máxima** asociada a los distintos niveles de intensidad de carga. Es cierto que actualmente no existe evidencia científica de que sea la metodología que logre un mayor desarrollo de la fuerza explosiva en las acciones motrices específicas. Sin embargo, a falta de confirmación científica, numerosos planteamientos teóricos y científicos aportados en este apartado sugieren que para el desarrollo de la fuerza explosiva únicamente debería ejecutarse a máxima velocidad el número de repeticiones que permita manifestar la potencia máxima. Este planteamiento es además coherente con el principio de especificidad del entrenamiento, indicando que para desarrollar la fuerza explosiva hay que incidir en la manifestación de fuerza explosiva en el entrenamiento, de la misma forma que para desarrollar el metabolismo de las grasas hay que incidir en métodos de trabajo que necesitan este sustrato energético.

Desde esta perspectiva, la **definición de los distintos métodos de trabajo** con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva está determinada casi exclusivamente por la **intensidad de la carga**. Una vez definida la intensidad de la carga, el número de repeticiones a ejecutar está determinado por el máximo número de repeticiones que para ese nivel de carga puede manifestar una óptima potencia de entrenamiento. Por este motivo, la definición de los métodos de entrenamiento está asociada al nivel de intensidad de carga. En este sentido, consideramos suficiente para definir los objetivos del entrenamiento distribuir los intervalos de intensidad de carga en 1-6RM, 6-12RM y 12-26RM, estableciendo así los términos que categorizan los métodos de entrenamiento propuestos: **método de 1-6RM a máxima**

potencia, método de 6-12RM a máxima potencia y método de 12-26RM a máxima potencia.

Método de 1-6RM a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.12 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 1-6RM a potencia máxima**.

El máximo número de repeticiones recomendado se sitúa en el intervalo de **1 a 2-3 repeticiones**, respectivamente, para la zonas de mayor y menor intensidad de este intervalo de carga debido a que es el número considerado óptimo para mantener la potencia mecánica. Para desarrollar la máxima potencia posible, la fase concéntrica debe ser ejecutada a **velocidad máxima**. Para este intervalo de intensidad de carga, en la fase excéntrica del movimiento es suficiente una velocidad que nos permita controlar sin riesgos la resistencia que se debe superar. Una velocidad elevada en la fase excéntrica puede ocasionar una deficiente ejecución técnica y un aumento del riesgo de lesión, aportando además, debido a la intensidad de la carga, pocos beneficios asociados a la reutilización de la energía elástica y a la activación del reflejo miotático. El volumen de entrenamiento está asociado al número de ejercicios y al número de series por ejercicio. Aunque el número de ejercicios depende de las distintas modalidades deportivas, probablemente la ejecución de **2-3 ejercicios principales** permite obtener las respuestas de adaptación suficientes manteniendo un volumen de entrenamiento óptimo. Para esta intensidad de carga se recomienda hacer **ejercicios multiarticulares básicos** con una gran amplitud de movimiento articular, por ejemplo sentadilla completa y prensa de pecho. Para algunos deportistas y modalidades deportivas es recomendable la ejecución de los **ejercicios olímpicos**, ya que, además de incidir en el desarrollo de la mayoría de los grupos musculares, determinan una elevada potencia con niveles de intensidad de carga elevados. Como el número de repeticiones ejecutadas es inferior al máximo número de repeticiones posibles, se requiere un elevado número de series para cada uno de estos ejercicios, **6-9 series**. Un período de **recuperación de 3-5 min** puede considerarse óptimo para manifestar niveles elevados de potencia durante la ejecución de las sucesivas series de cada

ejercicio debido a que permite la reposición de los depósitos de PCr.

TABLA 3.12. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva a una intensidad de 1-6RM (100-85% 1RM)

Método de 1-6RM a potencia máxima						
RM	% 1RM	Repeticiones ejecutadas	Velocidad concéntrica	Series	Descanso	Ejercicios
1	100	1	Máxima	6-9	3-5 min	Multiarticular con peso libre – sentadilla – prensa pecho – olímpicos
2	97,2	1				
3	94,4	1-2				
4	91,7	2				
5	88,9	2-3				
6	86,1	2-3				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

El número de repeticiones y de series y el tiempo de descanso se deben individualizar para cada deportista mediante la **valoración objetiva o subjetiva de la potencia** desarrollada en cada una de las repeticiones.

Objetivos de trabajo

Desde una perspectiva neuromuscular, debido a la elevada intensidad de la carga, este método de trabajo está asociado a la máxima actividad neural, ya que implica el **reclutamiento del máximo número de unidades motrices**. Al realizar únicamente las repeticiones que permiten mantener la máxima potencia mecánica, el reclutamiento va a ser específico de las fibras tipo II, incidiendo, a causa de la asociación entre la intensidad de la carga y la duración del movimiento, en un reclutamiento combinado de **fibras tipo IIB y IIA**, especialmente en ejercicios como prensa de pecho y sentadilla completa que se caracterizan, aun ejecutándose a la máxima velocidad posible, por una elevada duración de la fase concéntrica del movimiento. Esto sugiere que este método de trabajo induce una **hipertrofia selectiva de las fibras tipo II**. Además, este método de trabajo incide en adaptaciones asociadas al **metabolismo anaeróbico aláctico**. Desde una perspectiva de las manifestaciones de la fuerza, se desarrolla la potencia máxima o **fuerza explosiva con niveles de intensidad elevada** como consecuencia de las

respuestas de adaptación en el reclutamiento y la hipertrofia selectiva de fibras tipo II. Las respuestas de adaptación de este método pueden objetivarse mediante la **mejora de 1RM**, de la fuerza aplicada cuando se dispone de un tiempo relativamente elevado para manifestarla y de una mejora de la **zona de mayor intensidad de la curva fuerza-velocidad**.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

El método de 1-6RM a potencia máxima supone el máximo nivel de intensidad relativa en el entrenamiento con sobrecargas. Independientemente de la modalidad deportiva, este método, especialmente la zona de mayor intensidad, únicamente se debe aplicar a deportistas que, debido a que disponen de una **reserva actual muy elevada** y de amplia experiencia en el entrenamiento con sobrecargas, no pueden obtener las respuestas de adaptación deseadas con un nivel de intensidad inferior. Utilizar este método de trabajo en deportistas con reserva actual baja supone llegar al límite de intensidad sin aprovechar las respuestas de adaptación de los métodos de menor intensidad y, en consecuencia, limitar la reserva de adaptación a largo plazo.

Para la mayoría de las modalidades deportivas, la relación fuerza/velocidad/tiempo de este método de trabajo se aleja excesivamente de los patrones inherentes a las acciones motrices específicas de competición. Por este motivo, un método de 1-6RM a la potencia máxima sólo se debe utilizar, especialmente en la zona de mayor intensidad, en las modalidades deportivas en las que se requiera manifestar fuerza explosiva ante una **resistencia externa elevada**, o bien que las condiciones de la acción técnica precisen una elevada manifestación de fuerza (p. ej., halterofilia, gimnasia deportiva, deportes de lucha y algunos lanzamientos y saltos).

Método de 6-12RM a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.13 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 6-12RM a potencia máxima**.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En función de la información aportada en los pocos estudios existentes, el máximo número de repeticiones recomendado para mantener una potencia óptima está en el intervalo de **2-3 a 4-5 repeticiones**, respectivamente, para las zonas de mayor y menor intensidad de este intervalo de carga. Tal vez se pueda recomendar hacer, especialmente en las zonas de menor intensidad, 1-2 repeticiones más de las indicadas en ejercicios como media sentadilla, siendo probable que el número óptimo de repeticiones para mantener la máxima potencia mecánica sea superior. Al igual que para una intensidad de 1-6RM, la fase concéntrica se debe ejecutar a **velocidad máxima**, y en la fase excéntrica se requiere una velocidad que permita controlar el movimiento. Para este intervalo de intensidad se recomienda también la ejecución con peso libre de **ejercicios multiarticulares básicos** con una gran amplitud de movimiento (p. ej. sentadilla completa y prensa de pecho) y de **ejercicios olímpicos**. La ejecución de un menor número de repeticiones que el establecido tradicionalmente determina que para mantener un volumen óptimo se requiere un mayor número de series, **6-9 series** por ejercicio. Si se ha hecho el máximo número de repeticiones que permite manifestar una potencia óptima, es previsible que aparezca similar agotamiento de la PCr y similar fatiga neural que en un intervalo de intensidad más elevado; por este motivo se recomienda entre series y ejercicios un período equivalente de **recuperación de 3-5 min.**

TABLA 3.13. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva a una intensidad de 6-12RM (85-70% 1RM)

Método de 6-12RM a potencia máxima						
<i>RM</i>	<i>%1RM</i>	<i>Repeticiones ejecutadas</i>	<i>Velocidad concéntrica</i>	<i>Series</i>	<i>Descanso</i>	<i>Ejercicios</i>
7	83,3	2-3	Máxima	6-9	3-5 min	Multiarticular con peso libre – sentadilla – prensa pecho – olímpicos
8	80,5	3				
9	77,8	3				
10	75,0	3-4				
11	72,2	3-4				
12	69,4	4-5				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

No obstante, el número de repeticiones y series y el tiempo de descanso se

deben adaptar en función de la **valoración objetiva o subjetiva de la potencia** manifestada en cada una de las repeticiones.

Objetivos de trabajo

Aunque esta zona de trabajo se ha asociado tradicionalmente al desarrollo de hipertrofia muscular, la ejecución únicamente del número de repeticiones que permite mantener una óptima potencia mecánica determina que las adaptaciones esperadas están vinculadas al **metabolismo anaeróbico aláctico** y a la actividad del sistema nervioso, requiriendo el **reclutamiento a una elevada frecuencia de estimulación** de las unidades motrices que inervan las **fibras tipo IIB y IIA**, y la **hipertrofia selectiva** de estos tipos de fibras musculares. Estas adaptaciones permitirán en la mayoría de los deportistas una mejora de la manifestación de **fuerza explosiva con cargas altas**, asociándose a una **mejora de 1RM**, de la fuerza aplicada cuando se dispone de un tiempo relativamente prolongado para manifestarla y de la **curva fuerza-velocidad en la zona de mayor intensidad**.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

El método de 1-6RM a la potencia máxima se ha considerado adecuado en modalidades como halterofilia, gimnasia deportiva, deportes de lucha y algunos lanzamientos y saltos debido a que se requiere la manifestación de niveles elevados de fuerza explosiva. En los deportistas de estas **modalidades deportivas que requieren superar resistencias elevadas** que por diferentes condicionantes tengan una **reserva actual baja** en el entrenamiento con sobrecargas, el método de 6-12RM a potencia máxima puede considerarse el adecuado para producir las adaptaciones deseadas a largo plazo. Además, esta zona de trabajo se considera suficiente para desarrollar unos niveles óptimos de fuerza en las **modalidades deportivas que requieran manifestar fuerza explosiva con cargas medias**, por ejemplo, en los desplazamientos a velocidad máxima de patinaje, carrera y natación; en los desplazamientos y acciones motrices a intensidad máxima de los deportes de equipo, de combate y de lucha, y en algunos saltos y lanzamientos. En los ejercicios olímpicos la intensidad más baja de esta zona de trabajo permite, además, en deportistas experimentados, el desarrollo de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

potencia máxima.

Método de 12-26RM a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.14 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 12-26RM a potencia máxima**.

El número máximo de repeticiones recomendado para mantener una potencia óptima se sitúa en el intervalo de **5 a 9-10 repeticiones**, respectivamente, para las zonas de mayor y menor intensidad. Probablemente, para este intervalo de intensidad sea posible ejecutar con potencia óptima 2-3 repeticiones más de las indicadas en ejercicios como media sentadilla.

En las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva en acciones acíclicas también puede considerarse óptimo no ejecutar el número máximo de repeticiones que permiten mantener una potencia elevada. Al igual que para zonas de mayor intensidad, la fase concéntrica se debe realizar a **velocidad máxima**. Como esta zona de trabajo está asociada a la manifestación de la potencia máxima en la mayoría de los ejercicios con técnica tradicional y balística, es posible sugerir, además de una velocidad controlada, **diferentes variantes en la velocidad de la fase excéntrica** del movimiento.

Una de las posibles variantes implica mantener momentáneamente la posición al finalizar la fase excéntrica con el objetivo de incidir en la manifestación de la potencia máxima asociada exclusivamente a la capacidad contráctil de los grupos musculares implicados. Con esta magnitud de carga es posible aprovechar parcialmente las propiedades neuromusculares del estiramiento previo de los grupos musculares. Desde esta perspectiva, se desarrolla una mayor potencia si en la última parte de la fase excéntrica incrementamos la velocidad de ejecución para que la duración del CEA sea la mínima posible. Debido a que en esta zona de trabajo es posible ejecutar un mayor número de repeticiones a una potencia óptima, probablemente la ejecución de **3-6 series** por ejercicio sea suficiente para un volumen óptimo de trabajo. En el caso de ejecutar menos repeticiones que las posibles a una potencia óptima, habría que realizar 6-9 series. A causa del mayor número de

ejercicios recomendados para esta zona de trabajo, en sesiones con un mayor número de ejercicios se debe ejecutar menos series por cada ejercicio para no incrementar excesivamente el volumen de trabajo. Como el desarrollo de la potencia máxima es relevante para la transferencia de fuerza a las acciones motrices específicas, los ejercicios asociados al método de 12-26RM a potencia máxima deben ser **ejercicios más específicos**, por ejemplo, simulando la amplitud del movimiento articular ejecutando media y un cuarto de sentadilla, movimientos específicos como subida al banco y *split*, y especialmente la ejecución en la zona de menor intensidad de **ejercicios balísticos** como prensa de pecho lanzado y saltos con sobrecargas. Si se hacen todas las repeticiones que permiten mantener la potencia máxima, se requiere un período **de recuperación de 3-5 minutos**. Probablemente, un menor tiempo de recuperación puede ser suficiente si se realiza un menor número de repeticiones.

TABLA 3.14. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva a una intensidad de 12-26RM (70-30% 1RM)

Método de 12-26RM a potencia máxima						
<i>RM</i>	<i>%1RM</i>	<i>Repeticiones ejecutadas</i>	<i>Velocidad concéntrica</i>	<i>Series</i>	<i>Descanso</i>	<i>Ejercicios</i>
13	66,6	5	Máxima	3-6	3-5 min	Multiarticular con peso libre – media sentadilla – prensa pecho – subida banco – split y balísticos – saltos con carga – prensa lanzado
14	63,9	5-6				
15	61,1	6				
16	58,3	6-7				
17	55,5	7				
18	52,7	7				
19	50,0	7-8				
20	47,2	7-8				
21	44,4	8				
22	41,6	8-9				
23	38,8	8-9				
24	36,1	9				
25	33,3	9-10				
26	30,5	9-10				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. J Sports Med Phys Fitness 2007;47:427-36.

Al igual que se ha resaltado para intensidades superiores, se recomienda adaptar este método de entrenamiento en función de la **valoración más objetiva posible de la potencia** desarrollada en cada una de las repeticiones.

Objetivos de trabajo

Desde la perspectiva neuromuscular, este método de trabajo está asociado a una elevada activación del sistema nervioso, especialmente en la ejecución de ejercicios balísticos, solicitando el **reclutamiento selectivo a máxima frecuencia de las fibras tipo IIB**. Aunque esta zona de trabajo no se asocia tradicionalmente al desarrollo de la hipertrofia muscular, es posible una **hipertrofia selectiva de las fibras rápidas** si se hacen todas las repeticiones recomendadas en función del nivel de intensidad de carga. La ejecución de las repeticiones con la menor duración posible del CEA puede utilizarse para inducir adaptaciones en la **reutilización de la energía elástica** y **potenciar el reflejo de estiramiento** con cargas relativamente elevadas. Desde una perspectiva metabólica, se incide en el desarrollo del **metabolismo anaeróbico aláctico**. Desde una perspectiva de las manifestaciones de fuerza, este método de trabajo está orientado fundamentalmente al **desarrollo de la potencia máxima** en la mayoría de los ejercicios, produciendo consiguientemente una mejora de la **curva fuerza-velocidad en la zona de intensidad relativamente baja**. No obstante, este método de trabajo puede ser adecuado para desarrollar globalmente la **curva fuerza-velocidad** y **valores de 1RM en deportistas poco experimentados** en el entrenamiento con sobrecargas.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

Debido a la relación existente entre los valores de potencia máxima y la fuerza manifestada en las acciones motrices específicas, el método de 12-26RM a potencia máxima debe ser utilizado en el entrenamiento con sobrecargas de la **mayoría de los deportistas que requieren manifestar fuerza explosiva**. Además, en la mayoría de las modalidades deportivas y para los deportistas que necesitan el trabajo a una intensidad $>12\text{RM}$, se requiere este método de trabajo para transferir en la medida de lo posible los niveles de fuerza desarrollados con cargas superiores. La zona de mayor

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

intensidad de este método de trabajo puede considerarse la intensidad máxima óptima en deportistas poco experimentados en el entrenamiento con sobrecargas y que necesitan manifestar fuerza explosiva con cargas medias, como en los desplazamientos a máxima velocidad, los desplazamientos de los deportes de equipo, deportes de combate y de lucha, y en algunos saltos y lanzamientos. Además, la zona de mayor intensidad de este método de trabajo probablemente es la más adecuada para desarrollar niveles óptimos de fuerza en las acciones motrices que requieren manifestar fuerza explosiva con cargas relativamente bajas, como en la mayoría de los lanzamientos y golpes de los deportes de combate, deportes de equipo y deportes de raqueta.

Otros métodos y variantes para el desarrollo de fuerza explosiva

Consideramos que los métodos de trabajo propuestos engloban las necesidades de desarrollo de la fuerza explosiva mediante el entrenamiento con sobrecargas para la mayoría de las acciones motrices. Sin embargo, esto no implica que no puedan aplicarse simultáneamente otros **métodos alternativos** como los de descanso entre repeticiones propuestos por Lawton *et al.*, (2006), y que en diferentes situaciones sea necesario modificar algunos de los componentes del entrenamiento. En este sentido, es necesario recordar que el número de repeticiones y de series y el descanso entre series van a diferir significativamente en función del nivel del deportista, del estado de prestación del mismo y del tipo de ejercicio utilizado. Esto determina que el entrenador deba adaptar de la forma más objetiva posible los componentes del entrenamiento a las distintas situaciones. De la misma forma, aunque la base del desarrollo de la fuerza explosiva debe incidir en la ejecución de la fase concéntrica a la máxima velocidad posible, en deportistas poco experimentados y en períodos de elevado desacondicionamiento se puede alternar la ejecución de las repeticiones a una velocidad máxima y submáxima. Igualmente, aunque el desarrollo de la fuerza explosiva implica ejecutar únicamente las repeticiones que permiten mantener una potencia óptima, en los deportistas jóvenes y en las modalidades deportivas en las que sea relevante para el rendimiento incrementar el peso corporal mediante el desarrollo de la hipertrofia muscular puede ser adecuado hacer un mayor número de repeticiones sin necesidad de llegar al fallo muscular. Los métodos de trabajo propuestos inciden exclusivamente en el desarrollo de la

fuerza explosiva en la fase concéntrica del movimiento. Consideramos que en el entrenamiento con sobrecargas el desarrollo de la fuerza explosiva concéntrica es suficiente para la mayoría de las acciones motrices que se presentan en las distintas modalidades deportivas. Sin embargo, la ejecución de repeticiones a la máxima intensidad voluntaria en acciones isométricas es adecuada en modalidades como la halterofilia, pues únicamente mediante este tipo de método se puede trabajar manifestando mayor fuerza que en competición. La intensidad máxima descrita en los métodos de trabajo propuestos corresponde al valor de 1RM. Es posible, no obstante, ejecutar la fase excéntrica del movimiento a una intensidad significativamente superior, pudiendo ser adecuado en acciones motrices que requieren una elevada manifestación de fuerza excéntrica, por ejemplo, en saltadores de esquí. Otro método habitualmente utilizado es la ejecución de diferentes intensidades de carga en la misma sesión de entrenamiento. Algunos autores, como Harris *et al.*, (2000), han mostrado que un entrenamiento que combina en la misma sesión intensidades orientadas al desarrollo de la fuerza máxima y de la potencia máxima produce un mayor aumento del rendimiento en acciones motrices específicas que los programas que únicamente están orientados a 1 de los 2 objetivos. Pero este tipo de estudios no determinan si en un programa de entrenamiento de fuerza es mejor una ejecución simultánea o sucesiva de las distintas intensidades de entrenamiento.

4.2. Desarrollo de fuerza explosiva mediante la ejecución de ejercicios específicos

El entrenamiento con sobrecargas induce adaptaciones neurales y estructurales que permiten incrementar los niveles de fuerza máxima, el valor de 1RM y la máxima potencia. Aunque el aumento de estos parámetros está asociado a una mayor manifestación de fuerza explosiva en las acciones motrices específicas, los ejercicios utilizados y la relación fuerza/velocidad/tiempo difieren significativamente de los patrones observados en los gestos de competición. Desde esta perspectiva, el entrenamiento con sobrecargas es únicamente un medio que permite incrementar en mayor medida los niveles de fuerza explosiva en las acciones de competición. El desarrollo de la fuerza explosiva sería incompleto si no se dedicase un elevado porcentaje del tiempo al **entrenamiento con ejercicios**

específicos. Hay que considerar que la adaptación final del entrenamiento se asocia a la velocidad a la que el deportista entrena (Behm, 1995). Mediante la ejecución de los ejercicios específicos se simula en una **acción técnica próxima al gesto de competición el patrón de fuerza-velocidad-tiempo** que ha de manifestarse en las acciones motrices específicas y, en consecuencia, también el patrón de activación de las fibras musculares. El objetivo final del entrenamiento con ejercicios específicos es **transferir la fuerza obtenida con el entrenamiento con sobrecargas** a las necesidades de manifestación de fuerza de la competición. Este efecto de transferencia puede estar asociado a un **aprendizaje en el reclutamiento de unidades motrices** y a la **coordinación intermuscular**. Las diferentes variantes de los ejercicios específicos pueden producir además adaptaciones asociadas al **CEA**.

Se analiza a continuación los principales efectos asociados a la modificación de los principales componentes del entrenamiento con ejercicios específicos para posteriormente establecer la combinación óptima para el desarrollo de la fuerza explosiva.

Análisis de los componentes del entrenamiento con ejercicios específicos

Tipo de acción muscular

La ejecución de **ejercicios específicos** es inherente a la realización del tipo de acción muscular requerida en competición. Esto supone para la mayoría de las modalidades deportivas la selección de acciones dinámicas que comprenden las **fases excéntrica y concéntrica** del movimiento. Sin embargo, es razonable incluir en el programa de entrenamiento diferentes ejercicios que incidan de forma específica o acentuada en la fase concéntrica o en la excéntrica. En este sentido es de suponer que la ejecución exclusiva de la fase concéntrica, por ejemplo en saltos, lanzamientos y golpes, incide de una forma más específica en las adaptaciones asociadas a la capacidad contráctil de los grupos musculares. Es posible también incidir en la capacidad contráctil, tanto en acciones concéntricas como en acciones excéntrico-concéntricas, incrementando mediante numerosas variantes metodológicas la magnitud de resistencia que debe superar el deportista.

Igualmente, es posible incidir en mayor medida en los factores asociados al CEA mediante propuestas metodológicas que reduzcan el tiempo de transición entre la fase excéntrica y la concéntrica. La propia simulación del ejercicio de competición lleva implícito para la mayoría de las modalidades deportivas una **ejecución balística** de la fase concéntrica. Este aspecto es especialmente determinante debido a que la mayoría de los ejercicios asociados al entrenamiento con sobrecargas no son balísticos. Así, la combinación sucesiva en una misma sesión de entrenamiento de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos puede ser determinante del grado de transferencia de la fuerza obtenida. Debido a la importancia de esta temática, se analiza posteriormente la combinación de ejercicios con sobrecargas y específicos.

Selección de ejercicios

Puesto que el objetivo del entrenamiento con ejercicios específicos es simular las acciones de competición, no es posible identificar ejercicios concretos que sean válidos para las distintas modalidades deportivas. De hecho, precisamente es la diferenciación de estos ejercicios lo que determina que deportistas que realizan los mismos ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas difieran significativamente en el nivel de fuerza manifestado en distintas acciones motrices. El único criterio común para las distintas modalidades deportivas es que los entrenadores deben incidir en plantear numerosas **variantes de ejercicios que simulen las acciones de competición**, aumentando o disminuyendo la duración del CEA, o incluso, como hemos indicado previamente, eliminando la fase excéntrica del movimiento. La realización de pequeñas modificaciones de la acción motriz de competición determina la magnitud de resistencia que debe superar el deportista sin necesidad de incrementar la resistencia externa. Así, ejecutar en un lanzamiento, golpeo o salto únicamente la fase concéntrica determina una mayor incidencia en la capacidad contráctil del músculo. Incidir en los desplazamientos en mayor o menor medida en la amplitud de movimiento o en la frecuencia de movimientos determina, respectivamente, una **mayor o menor duración del CEA**, produciendo supuestamente un efecto diferencial de adaptaciones asociadas a la capacidad contráctil o a la reutilización de la energía elástica y la activación del reflejo miotático. Igualmente, es de esperar un efecto diferencial sobre la capacidad contráctil y sobre los factores

asociados al CEA modificando la inercia de movimiento del deportista y del móvil. Por ejemplo, en lanzamiento de peso es posible reducir la inercia ejecutando exclusivamente la acción de movimiento del brazo, y en lanzamiento de jabalina eliminando o acortando la carrera previa. El incremento o la reducción de la carrera previa también se pueden aplicar, por ejemplo, en los golpesos, lanzamientos y saltos de la mayoría de los deportes de equipo. En los golpesos también cabe modificar la duración del CEA aumentando o disminuyendo la velocidad del móvil. En todos los deportes asociados a continuos cambios de dirección es posible incrementar o disminuir la duración del CEA mediante la ejecución de ejercicios que, respectivamente, disminuyan o incrementen la distancia asociada a cada cambio de dirección. Para estos deportes, y especialmente para las modalidades deportivas asociadas a la máxima velocidad de desplazamiento sin cambio de dirección, se puede aumentar o disminuir el CEA planteando repeticiones en las que el deportista inicie la acción desde parado o con movimiento previo, incidiendo, por tanto, en menor o mayor medida, en la fase de aceleración o en la fase de máxima velocidad de desplazamiento.

Los ejercicios específicos de mayor difusión en el entrenamiento son la ejecución de **diferentes tipos de saltos**. Las distintas variantes de ejecución de saltos sucesivos o simultáneos, incidiendo en mayor o menor aplicación de fuerza horizontal o vertical, se aplican a numerosas modalidades deportivas. Durante la ejecución de un salto, el centro de gravedad se eleva respecto al desplazamiento en carrera. Esto implica que en la fase inicial de contacto con el suelo aumente el nivel de fuerza excéntrica. La mayor fuerza aplicada en la fase de estiramiento del músculo es probablemente percibida por los sensores de estiramiento como un incremento del riesgo de lesión, induciendo una mayor activación del reflejo de estiramiento y, en consecuencia, potenciando la fase concéntrica del movimiento. La difusión de los diferentes saltos procede de la atribución a este tipo de entrenamiento de los éxitos conseguidos por diferentes deportistas rusos a principios de la década de 1970, especialmente por el éxito de Valery Borzov al obtener la victoria en 100 y 200 m de atletismo en los JJOO de 1972. A este respecto, los entrenadores de diferentes países obtuvieron la información de un artículo publicado en 1966 por Verhoshanski. Específicamente, el principal ejercicio relatado se conoce con el nombre de *drop jump* (DJ), asociado a dos variantes, *bounce drop jump* (BDJ) y *counter drop jump* (CDJ) (véase el apartado 6.2). Aunque se ha sugerido introducir sobrecargas durante la

ejecución de estos ejercicios, en la revisión de distintos estudios realizada por Bobbert (1990) se concluye que la utilización de sobrecargas no aumenta más la capacidad de salto de los deportistas.

El aumento de la popularidad de estos ejercicios no se ha acompañado de estudios controlados que determinen su influencia sobre la mejora de distintos parámetros asociados al rendimiento. En la revisión de estudios realizada por Bobbert (1990) se concluye que la utilización de DJ aumenta la capacidad de salto tanto en sujetos no entrenados como entrenados, incluidas mejoras de la capacidad de salto patinando. Sin embargo, en el diseño de estos estudios variaron significativamente las principales variables asociadas al programa de entrenamiento, fundamentalmente la altura de la plataforma, la utilización o no de sobrecarga y la técnica utilizada; por consiguiente, no es posible definir la combinación óptima de los componentes de entrenamiento en los programas de este ejercicio. Las principales recomendaciones están asociadas a una ejecución progresiva de diferentes tipos de saltos durante la planificación a largo plazo de los deportistas y durante la planificación de una temporada. La secuencia propuesta por Bobbert (1990) implica realizar diferentes saltos horizontales y verticales, posteriormente entrenamiento con sobrecargas y finalmente la utilización de un programa de DJ adaptando la altura de la plataforma al nivel de los deportistas y a la altura asociada a la manifestación de la potencia máxima. El lector interesado puede obtener en el estudio de Bobbert (1990) las características del programa de Bartholomew (1985) que indujo, de entre todos los estudios analizados, la mayor mejora de la capacidad de salto. Las características de otros programas también se pueden consultar en otros estudios, por ejemplo en el artículo de Wilson y Murphy (1996).

Secuencia de ejercicios

Los ejercicios específicos se pueden trabajar en una **sesión específica** o distribuidos sucesiva o **simultáneamente con ejercicios con sobrecargas**. Se ha justificado previamente que, con el fin de transferir el mayor nivel de fuerza manifestado en los ejercicios con sobrecargas, éstos deben preceder a la ejecución de acciones motrices específicas. Por este motivo, los ejercicios específicos orientados a incrementar el nivel de fuerza respecto a la requerida en competición deben preceder a la ejecución de repeticiones de la acción motriz específica y en su caso a la ejecución de ejercicios orientados a

disminuir el CEA de la acción motriz de competición. Para transferir el mayor porcentaje de reutilización de energía elástica y de activación del reflejo miotático asociado a los ejercicios que disminuyen el CEA, éstos deben preceder a la ejecución de la acción motriz de competición. Las variaciones de los ejercicios específicos determinan en ocasiones modificaciones del gesto técnico de la acción motriz. En este caso, probablemente es coherente en el diseño de una sesión de ejercicios específicos una progresión desde los ejercicios más alejados hasta los más próximos al gesto técnico de competición. Así, por ejemplo, habría que realizar antes las repeticiones de velocidad cuesta arriba que las repeticiones de velocidad con lastres en un terreno sin inclinación.

Intensidad o carga asignada a cada ejercicio

En relación a la intensidad de la carga de los ejercicios específicos, podemos diferenciar entre ejercicios de intensidad equivalente a la de competición, ejercicios resistidos y ejercicios asistidos. Al igual que para el entrenamiento con sobrecargas, la diferenciación de la intensidad de los ejercicios va a determinar los diferentes métodos de entrenamiento. Los **ejercicios con una intensidad equivalente a la de competición** tienen por objeto simular la misma acción técnica de competición **sin modificar el nivel de resistencia** que debe superar el deportista. Los **ejercicios resistidos** se caracterizan por **incrementar la duración del CEA**, habitualmente asociado a un incremento en el nivel de fuerza manifestado. El objetivo de los ejercicios resistidos es transferir a la acción técnica de competición el **mayor reclutamiento de unidades motrices** asociado al entrenamiento con una magnitud de resistencia superior. Los **ejercicios asistidos** se caracterizan por **disminuir la duración del CEA**, habitualmente asociada a una disminución del nivel de fuerza manifestado. El objetivo de los ejercicios asistidos es solicitar una **mayor frecuencia de estimulación de las fibras musculares más rápidas** y aprovechar en mayor medida los factores asociados a la fase excéntrica del movimiento, la **energía elástica** y el **reflejo de estiramiento**.

El incremento y la disminución de la duración del CEA con el fin de trabajar, respectivamente, con ejercicios resistidos y asistidos, puede realizarse con numerosas variantes. El fundamento físico de la mayoría de estas variantes es común para las distintas modalidades deportivas, si bien los medios utilizados pueden ser diferentes. En las figuras 3.58 y 3.59 se

describen diferentes **propuestas para modificar la duración del CEA**, respectivamente, para las acciones que requieren el desplazamiento del peso corporal y para las que requieren la utilización de un móvil o implemento. Estas propuestas se pueden adaptar a las distintas modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva.

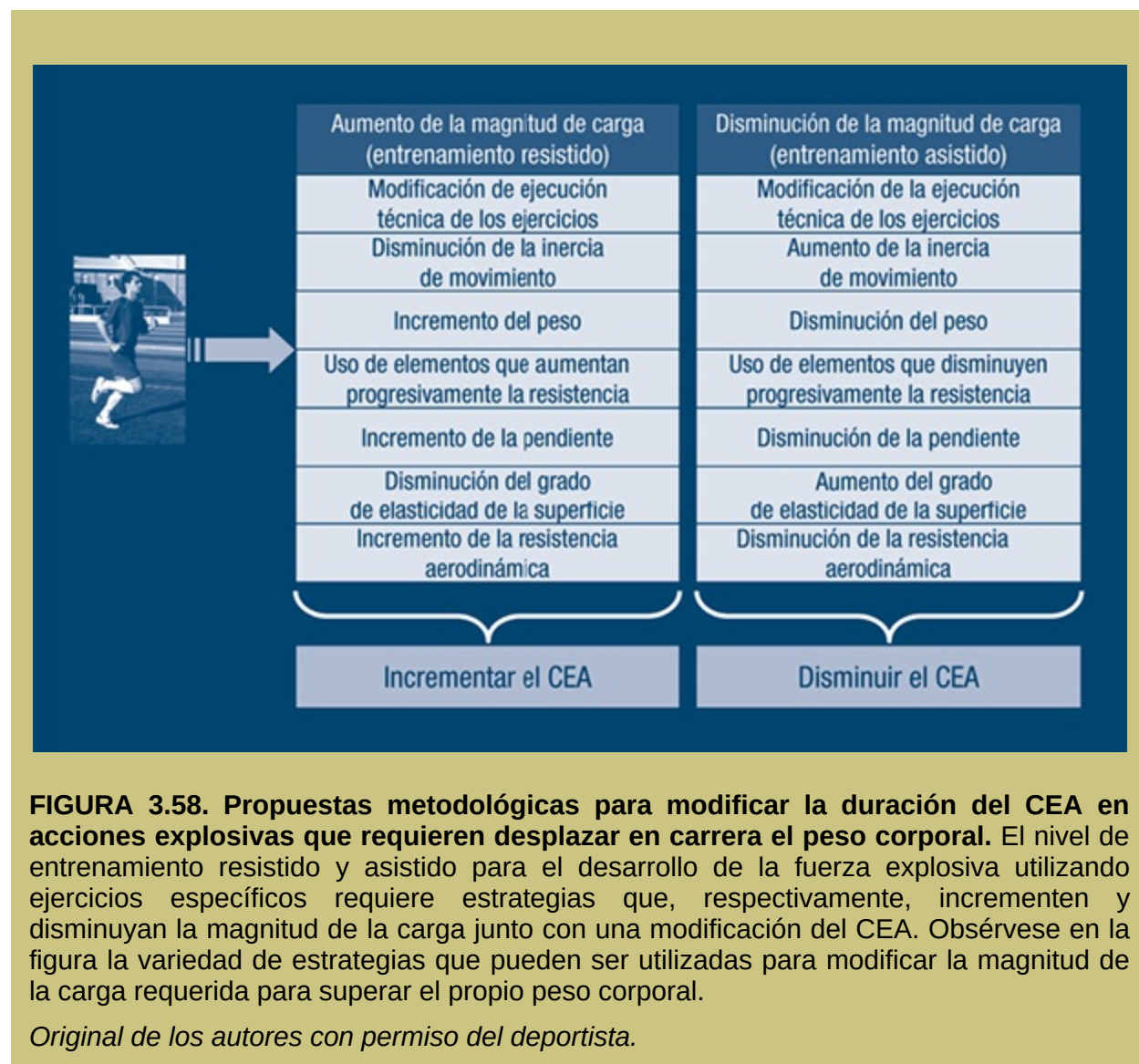




FIGURA 3.59. Propuestas metodológicas para modificar la duración del CEA en acciones que requieren la utilización de un implemento. Considerando que en muchas modalidades deportivas la resistencia que hay que superar es externa, por ejemplo, un implemento, se puede comprobar en esta figura las estrategias más utilizadas para establecer los distintos niveles de entrenamiento mediante la ejecución de ejercicios específicos.

Original de los autores.

La selección de ejercicios que modifican la acción técnica permite incrementar o disminuir el CEA. Estas modificaciones habitualmente están asociadas a un incremento o disminución de la inercia de movimiento del peso corporal o del implemento. El incremento del peso que debe superar el deportista puede realizarse en los desplazamientos utilizando, por ejemplo, lastres y arrastres. El aumento de la resistencia no debe ser de suficiente magnitud como para reducir de manera significativa la calidad de la ejecución técnica del movimiento. En modalidades deportivas que presentan una elevada dificultad técnica, por ejemplo, los deportes compositivos, probablemente no es adecuada la utilización de lastres en estos ejercicios, pudiendo usar este medio de entrenamiento en acciones técnicas más sencillas como saltos y desplazamientos. En los deportes de combate, el aumento del peso corporal está asociado a la competición simulada con deportistas de mayor peso al correspondiente a la categoría de cada deportista. El incremento o la disminución del peso del implemento de

competición es habitualmente una estrategia utilizada en numerosas modalidades deportivas, como la modificación del peso del balón en balonmano, la utilización de *sticks* lastrados en el hockey, raquetas lastradas, etc. En algunos de estos casos, para no interferir en la ejecución técnica, puede ser conveniente realizar los ejercicios de competición sin golpear la pelota. La utilización de materiales como las gomas elásticas que disminuyen o incrementan progresivamente el nivel de resistencia que debe superar el deportista es una estrategia adecuada para los desplazamientos en carrera o en natación, así como en la simulación de gestos técnicos más específicos como lanzamientos y golpes. En los desplazamientos es posible modificar el CEA incrementando o disminuyendo la pendiente y el grado de elasticidad de la superficie sobre la que se realiza el ejercicio. Con el fin de no alejarse excesivamente de los patrones de fuerza-velocidad-tiempo y de la ejecución técnica, la modificación de la pendiente no debe ser excesiva.

Aunque existen contradicciones entre los estudios, algunos resultados sugieren la especificidad en los **efectos del entrenamiento resistido y específico**. Así, se ha observado que el entrenamiento resistido incrementa la fase de aceleración, y el entrenamiento específico, la fase de máxima velocidad durante un esprín de 50 m (Zafeiridis *et al.*, 2005). A este respecto, el entrenamiento combinado de esprines cuesta arriba y cuesta abajo con una pendiente de 3° ha mostrado su efectividad para mejorar el tiempo sobre una distancia de 35 m (Paradisis y Cooke, 2006). El grado de elasticidad de la superficie de contacto permite numerosas variantes, por ejemplo, desplazamientos en tierra dura, tierra blanda, barro, arena de playa, hierba, tartán, pista sintética, etc. Así, se ha observado que la ejecución de ejercicios específicos en diferentes superficies como arena o hierba produce efectos diferentes de entrenamiento probablemente asociados a una diferente respuesta neuromuscular inherente a la modificación del CEA. Por ejemplo, se ha observado que los ejercicios en tierra tienen mayor efecto sobre la capacidad contráctil y que los ejercicios en hierba lo tienen sobre la capacidad elástica (Impellizzeri *et al.*, 2008). El aumento de la resistencia aerodinámica y en su caso hidrodinámica es factible mediante el planteamiento de ejercicios a favor o en contra de la dirección de la corriente o del aire, y con la utilización de materiales como paracaídas en los desplazamientos y aletas, manoplas y ropa en natación.

En el clásico trabajo de Sharp *et al.*, (1982) los autores mostraron en 40 nadadores que la potencia de brazos desarrollada en un ergómetro que simula

el gesto de la natación está muy asociada con el tiempo en que se recorre una prueba de 22,86 m ($r = 0,90$). Además, en 4 nadadores que realizaron un entrenamiento exclusivo con el mencionado ergómetro se observó una mejora del 18,7% de la potencia, asociándose a un incremento del 4% de la velocidad de natación. El efecto del entrenamiento resistido y asistido también se ha determinado en pruebas como los 100 m en natación y atletismo. Aunque estas pruebas implican también la manifestación de fuerza resistencia, se incluyen en este apartado debido a la elevada velocidad de ejecución que requieren. Girold *et al.*, (2006) han establecido los efectos de 3 semanas de un entrenamiento resistido y asistido sobre el rendimiento en 100 m en natación (crol). El grupo que realizó el entrenamiento resistido mejoró un 2% el rendimiento en 100 metros, en comparación con un 0,8% del grupo que realizó entrenamiento asistido y un -0,3% del grupo que continuó exclusivamente con el entrenamiento habitual. Mejoras importantes también se han observado en el rendimiento en 100 m lisos, aunque en este caso las mejoras más importantes se produjeron en el grupo que realizó el entrenamiento asistido (Delecluse y cols 1995).

Velocidad de ejecución y duración de las repeticiones

Como las acciones motrices de competición objeto de estudio se ejecutan a la máxima velocidad posible, cada una de las repeticiones de ejercicios específicos, resistidos y asistidos debe realizarse a la **velocidad máxima**. La duración depende de la acción motriz y de las modificaciones planteadas, pero en todo caso **la duración de las repeticiones debe permitir manifestar la fuerza máxima** posible.

Número de repeticiones

El principal factor que determina el **número de repeticiones óptimo** es el **mantenimiento de la máxima aplicación de fuerza**. La ejecución de un mayor número de repeticiones está asociada a un entrenamiento de la resistencia a la fuerza explosiva. El control objetivo o subjetivo de la velocidad de ejecución de las distintas repeticiones debe determinar el número de repeticiones ejecutadas. Lógicamente, cuanto mayor sea la duración del esfuerzo de cada repetición, menor va a ser el número de repeticiones en las que es posible mantener la aplicación de la fuerza. Debido

a la variedad de ejercicios que permiten simular la acción de competición, es habitual distribuir las repeticiones de una sesión de entrenamiento en la ejecución de distintos ejercicios.

Volumen de una sesión

El **volumen de una sesión** orientada al desarrollo de la fuerza explosiva mediante ejercicios específicos depende de numerosos factores. Así, se requiere un menor volumen de trabajo si previamente se han ejecutado ejercicios con sobrecargas. El volumen de la sesión también está asociado al objetivo específico que se pretende. Por ejemplo, es habitual la utilización de sesiones muy cortas con ejercicios específicos que no impliquen excesiva fatiga y permitan la activación del deportista en el día previo o en el mismo día de la competición. Otro factor determinante del volumen de la sesión es la forma en que se distribuyen las series y repeticiones. Por ejemplo, en acciones motrices específicas, como en los desplazamientos de 30 a 60 m, lo habitual es realizar **una serie con varias repeticiones**. En cambio en acciones de menor duración, como los ejercicios acíclicos, es habitual realizar **distintas series de repeticiones**. Lógicamente, el volumen que permite mantener la máxima aplicación de fuerza diferirá de manera significativa en función del nivel de los deportistas. Independientemente de estos factores, como ya se ha indicado, el volumen se asocia al **mantenimiento de la máxima aplicación de fuerza** en cada una de las repeticiones y series. Una duración de 20 a 30 min de los ejercicios específicos puede servir como orientación.

Descanso entre series y ejercicios

Cuando se realizan **ejercicios específicos de corta duración**, como las acciones acíclicas o cíclicas de corta duración, es habitual distribuir el número total de repeticiones en **distintas series**, por ejemplo 4 series de 5 lanzamientos. En este caso, debido a que en una repetición no se agotan los depósitos de PCr, es posible mantener la aplicación de fuerza con un período de **descanso entre repeticiones** relativamente breve, **~1 min**. Con las sucesivas repeticiones disminuyen progresivamente los niveles de PCr, siendo necesario entonces finalizar la serie de repeticiones. Se recomienda un **descanso entre series** suficiente para resintetizar la PCr, **~5 min**.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En la ejecución de **ejercicios específicos de mayor duración** de cada repetición, el mayor agotamiento de la PCr determina un incremento del período de **descanso entre repeticiones**, ~2-3 min. Estos valores de referencia establecidos pueden variar significativamente en función de los distintos ejercicios, duración de las repeticiones, nivel del deportista, etc., por lo que se insiste nuevamente en que estos componentes del entrenamiento deben modificarse en la propia sesión de entrenamiento mediante la **objetivación del mantenimiento de la velocidad de ejecución**.

Frecuencia de entrenamiento semanal

Al igual que lo establecido para el entrenamiento con sobrecargas, aunque puede establecerse para la ejecución de **ejercicios específicos** una frecuencia óptima de **2-3 sesiones a la semana**, la frecuencia **depende de numerosos factores**. Las características de las distintas modalidades deportivas, el momento de la temporada, el calendario de competición y la fatiga son factores que deben considerarse. Aunque la ejecución de ejercicios específicos se recomienda durante toda la temporada, la frecuencia de entrenamiento debe incrementarse en los períodos próximos a las competiciones principales. Aquéllos deben constituir la mayor parte del entrenamiento asociado al desarrollo de la condición física en las semanas con competición de mayor relevancia en modalidades caracterizadas por un largo período competitivo.

Independientemente de estos factores, las sesiones de entrenamiento se han de planificar en momentos en los que **el deportista debe ser capaz de manifestar sus niveles de fuerza explosiva**.

Métodos de entrenamiento con ejercicios específicos para el desarrollo de fuerza explosiva

El componente común de la estructuración de los **métodos de entrenamiento con ejercicios específicos** orientados al desarrollo de la fuerza explosiva es la ejecución de cada repetición a la **potencia máxima**. La **diferenciación** de los distintos métodos de trabajo está determinada por la **duración del CEA**. De esta forma, diferenciaremos entre el **método específico a potencia máxima**, **método específico resistido a potencia máxima** y **método específico asistido a potencia máxima**.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Método específico a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.15 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método específico a potencia máxima**.

El factor principal que define este método de trabajo es la ejecución del ejercicio en condiciones semejantes a las de competición, debiendo **simular la acción técnica completa** en el **mismo patrón de fuerza-velocidad-tiempo**. Desde esta perspectiva, la duración del esfuerzo debe ser la misma que en competición, si bien en determinadas acciones se puede parcializar la acción motriz, por ejemplo, incidir exclusivamente en la fase de aceleración en un desplazamiento. Aunque se establece como criterio de referencia una definición del número de repeticiones, series y descanso entre series, el factor determinante de estos componentes del entrenamiento es que el deportista sea capaz de **mantener en todas las repeticiones la velocidad máxima**. Además, el número de repeticiones depende de si se realizan en la misma sesión métodos de entrenamiento con sobrecargas o métodos de entrenamiento resistidos o asistidos.

TABLA 3.15. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva con un método específico

Método específico a potencia máxima						
Intensidad de la carga	Ejercicios	Velocidad	Duración	Repeticiones	Series	Descanso
Similar a la de competición	La acción motriz de competición	Máxima	Dependiente de la acción motriz	Esfuerzos de 5-8 seg: 10 rep. Esfuerzos de < 5 seg: 20 rep.	Esfuerzos de 5-8 seg: 1 serie Esfuerzos de < 5 seg: 4 series	Esfuerzos de 5-8 seg: 2-3 min Esfuerzos de < 5 seg: 1 min por repetición y 3-5 min por serie

El número de repeticiones, series y descanso debe establecerse en función del mantenimiento de la máxima velocidad posible. El número de repeticiones puede distribuirse con la combinación de ejercicios de mayor o menor magnitud de carga. La duración de la acción motriz siempre debe permitir desarrollar la máxima velocidad posible.

Original de los autores.

Objetivos de trabajo

El objetivo de este método de entrenamiento es el **desarrollo de la fuerza explosiva específica de competición**. Su utilización permite la **transferencia de todas las adaptaciones neuromusculares** obtenidas mediante los restantes métodos de entrenamiento de la fuerza a la acción motriz de competición.

Método específico resistido a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.16 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método específico resistido a potencia máxima**.

El factor principal que define este método de trabajo es la ejecución de **ejercicios específicos con una duración del CEA superior** a la que se manifiesta en la acción motriz de competición. Además de utilizar el ejercicio que define la acción motriz de competición, se puede plantear numerosos **ejercicios que guarden cierta similitud**. Como se ha descrito al definir la intensidad, el incremento del CEA es posible mediante numerosos planteamientos metodológicos. En un método resistido, el resto de los componentes del entrenamiento están influidos por el **mantenimiento de la máxima velocidad** de ejecución posible.

Objetivos de trabajo

El objetivo de este método de entrenamiento es **desarrollar la fuerza explosiva específica** con una intensidad de carga ligeramente superior a la de competición. Este método debe facilitar la **transferencia** del mayor número de unidades motrices reclutadas en el entrenamiento con sobrecargas a la acción motriz específica. Simultáneamente, este método persigue un mayor reclutamiento de unidades motrices en la misma acción motriz o similar a la de competición, por lo que se le presupone un efecto de aprendizaje que permite **incrementar en competición el número de unidades motrices reclutadas**.

Método específico asistido a potencia máxima

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.17 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método específico asistido a potencia máxima**.

El factor principal que define este método de trabajo es la ejecución de **ejercicios específicos con una duración del CEA inferior** a la que se manifiesta en la acción motriz de competición. De forma equivalente a la del método resistido, además de utilizar el ejercicio que define la acción motriz de competición, se puede plantear numerosos **ejercicios que guarden cierta similitud**. La disminución del tiempo del CEA es posible con numerosas alternativas previamente especificadas. Como en todos los métodos asociados al desarrollo de la fuerza explosiva, **la velocidad de ejecución define los restantes componentes de entrenamiento**. Este método de trabajo puede combinarse en una misma sesión de entrenamiento con métodos de sobrecargas y otros métodos específicos.

TABLA 3.16. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva con un método específico resistido

Método específico resistido a potencia máxima						
Intensidad de la carga	Ejercicios	Velocidad	Duración	Repeticiones	Series	Descanso
Superior a la de competición	La acción motriz de competición y ejercicios que la simulen	Máxima	Dependiente de la acción motriz	Esfuerzos de 5-8 seg: 10 rep. Esfuerzos de < 5 seg: 20 rep.	Esfuerzos de 5-8 seg: 1 serie Esfuerzos de < 5 seg: 4 series	Esfuerzos de 5-8 seg: 2-3 min Esfuerzos de < 5 seg: 1 min por repetición y 3-5 min por serie

Véase el texto para las posibles directrices de incrementar la magnitud de la carga y de las variantes de ejercicios. El número de repeticiones, series y descanso debe establecerse en función del mantenimiento de la máxima velocidad posible. El número de repeticiones puede distribuirse con la combinación de variantes de ejercicios y con ejercicios de similar o inferior magnitud de la carga. La duración de la acción motriz siempre debe permitir desarrollar la máxima velocidad posible.

Original de los autores.

Objetivos de trabajo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

El objetivo de este método de entrenamiento es **desarrollar la fuerza explosiva específica** con una intensidad de carga ligeramente inferior a la de competición. Respecto al método específico, este método determina probablemente una **mayor frecuencia de estimulación de las fibras más rápidas**, un **mayor porcentaje de reutilización de la energía elástica** y una **mayor activación del reflejo miotático**. Se le presupone un efecto de aprendizaje que permite incrementar en competición el aprovechamiento de estos factores neuromusculares.

TABLA 3.17. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva con un método específico asistido

Método específico asistido a potencia máxima						
<i>Intensidad de la carga</i>	<i>Ejercicios</i>	<i>Velocidad</i>	<i>Duración</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Series</i>	<i>Descanso</i>
Inferior a la de competición	La acción motriz de competición y ejercicios que la simulen	Máxima	Dependiente de la acción motriz	Esfuerzos de 5-8 seg: 10 rep. Esfuerzos de < 5 seg: 20 rep.	Esfuerzos de 5-8 seg: 1 serie Esfuerzos de < 5 seg: 4 series	Esfuerzos de 5-8 seg: 2-3 min Esfuerzos de < 5 seg: 1 min por repetición y 3-5 min por serie

Véase el texto para las posibles directrices de disminuir la magnitud de la carga y de las variantes de ejercicios. El número de repeticiones, series y descanso debe establecerse en función del mantenimiento de la máxima velocidad posible. El número de repeticiones puede distribuirse con la combinación de variantes de ejercicios y con ejercicios de similar o superior magnitud de la carga. La duración de la acción motriz siempre debe permitir desarrollar la máxima velocidad posible.

Original de los autores.

4.3. Desarrollo de fuerza explosiva realizando en una sesión ejercicios con sobrecargas y específicos

Actualmente, numerosos autores sugieren un **entrenamiento simultáneo de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos** en la misma sesión. Uno de los máximos exponentes de esta metodología de entrenamiento es Cometti, quien propone una amplia combinación de ejercicios para mejorar la fuerza explosiva en acciones motrices de fútbol (Cometti, 1999). Se ha sugerido que la combinación de ambos tipos de ejercicios en una misma sesión de entrenamiento o en sesiones sucesivas puede **facilitar la**

transferencia de la mayor fuerza desarrollada en los ejercicios con sobrecargas a la acción motriz específica de competición. La explicación aportada por los autores se basa en que un entrenamiento con cargas elevadas no se puede transferir a largo plazo a los movimientos más rápidos y complejos de las acciones motrices deportivas (efecto de aprendizaje) debido a que el sistema nervioso no puede aprender y controlar los niveles adquiridos de fuerza o la masa muscular en los movimientos muy rápidos y que requieren un elevado nivel de coordinación. Aunque sobre esta hipótesis todavía quedan muchas preguntas por contestar, recientes trabajos aportan conclusiones interesantes desde una doble perspectiva: (i) el efecto de la ejecución de ejercicios con sobrecargas sobre el rendimiento de la ejecución sucesiva de una acción motriz específica, y (ii) el efecto diferencial que sobre el rendimiento específico en una acción motriz implica la ejecución durante varias semanas de un programa que combina en la misma sesión ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos.

Respecto al primer tipo de análisis, investigaciones recientes han demostrado que la **ejecución previa de acciones isométricas y acciones dinámicas con sobrecargas elevadas** incrementa de un 2% al 10% el **rendimiento en acciones motrices específicas** que requieren la manifestación de fuerza explosiva como saltos y esprines en bicicleta (Kilduff *et al.*, 2008; Hoffman *et al.*, 2007; Saez *et al.*, 2007; Chiu *et al.*, 2003; French *et al.*, 2003). El incremento del rendimiento se ha asociado a un efecto de potenciación de la postactivación neural. Se cree que la **potenciación de la postactivación neural** es inducida por varios factores (véase Tillin y Bishop, 2009), destacando entre ellos que el mejor funcionamiento del músculo en las acciones específicas se debe a un aumento de la señal de los nervios que activan el músculo como consecuencia del **mayor reclutamiento** inherente al trabajo previo con sobrecargas elevadas (Hamada *et al.*, 2000).

Hoffman *et al.*, (2007) han descrito que en deportistas experimentados en el entrenamiento de fuerza la ejecución previa de un test de 1RM en el ejercicio de sentadilla produjo a los 5 min un aumento significativo de la altura de un salto de $1,7 \pm 4,4$ cm. Aunque los autores indicaron que el efecto de la ejecución de 1RM mejoró la altura de salto, los resultados encontrados merecen una exposición más específica. Una desviación estándar de 4,4 cm sobre un incremento de 1,7 cm determina que, aunque globalmente el grupo analizado mejoró la altura de salto, muchos deportistas empeoraron su

rendimiento. Esto determina que algunos de los deportistas ejecutaron la acción de salto en estado de fatiga debido a la intensidad de la carga y/o al tiempo de recuperación, lo que sugiere que es necesario individualizar estos componentes del entrenamiento para aprovechar el efecto de potenciación de la postactivación neural. De hecho, Chiu *et al.*, (2003) observaron que la ejecución previa de un entrenamiento con intensidades elevadas incrementó a los 5 min el rendimiento en acciones de salto en deportistas experimentados, pero sin cambios significativos en sujetos poco entrenados. En la misma línea, Rixon *et al.*, (2007) sugieren que la postactivación neural está asociada a sujetos experimentados en el entrenamiento de fuerza. Es de interés que los autores encontraran un efecto positivo de la ejecución previa de ejercicios a intensidad elevada sobre la altura de salto después de un período de recuperación de 3 min en la muestra masculina, pero no en la femenina. Kilduff *et al.*, (2008) han observado en jugadores de rugby de nivel profesional que después de la ejecución de 3 series de 3 repeticiones de sentadilla al 87% 1RM se produce inicialmente una disminución de la altura de salto, observándose sin embargo una mejora significativa después de 8 min de recuperación. Saez *et al.*, (2007) han descrito en jugadores de voleibol que la ejecución de un entrenamiento con sobrecargas, especialmente con intensidades elevadas, incrementa la altura de un salto incluso después de 6 h de recuperación.

Se puede concluir que el **trabajo con sobrecargas sobre el rendimiento posterior en una acción motriz específica** que requiera la manifestación de fuerza explosiva puede tener **efecto positivo** como consecuencia de la potenciación de la postactivación neural, o **efecto negativo** como consecuencia de la fatiga. Varios **factores** influyen en el efecto positivo o negativo del trabajo con sobrecargas sobre el rendimiento posterior en una acción motriz específica (Tillin y Bishop, 2009): el volumen y la intensidad del trabajo con sobrecargas, el tipo de trabajo con sobrecargas, el período de recuperación entre el trabajo con sobrecargas y la acción motriz específica, el tipo de acción motriz específica y las características de los deportistas. Estas variables no han sido estandarizadas en los distintos trabajos de investigación, y, como resultado, la evidencia del trabajo previo con sobrecargas sobre el rendimiento en una acción motriz explosiva es controvertida. Aunque la postactivación neural se ha observado después de acciones isométricas o dinámicas de muy elevada intensidad (>80% 1RM) (Tillin y Bishop, 2009), es posible que en sujetos con menor experiencia en el

entrenamiento con sobrecargas se requiera una intensidad menor en la ejecución de los ejercicios con sobrecargas o mayor tiempo de recuperación para la ejecución de los ejercicios específicos. Un aspecto de especial relevancia es que actualmente ningún estudio ha valorado si el efecto de postactivación neural está asociado a un mayor rendimiento en acciones motrices más complejas como los distintos saltos y lanzamientos de atletismo. Ciertamente, esta área de investigación puede conducir a importantes conclusiones para determinar un óptimo **calentamiento previo a las competiciones** en estas modalidades deportivas. Aunque la literatura científica actualmente no permite dar respuesta a todas las hipótesis asociadas a la mejor combinación de los componentes del entrenamiento en una ejecución sucesiva de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos, los resultados que se han mostrado determinan que este tipo de planteamiento puede ser efectivo para la transferencia del entrenamiento de fuerza, y puede servir, asimismo, como parte integrante del calentamiento previo a las competiciones que requieren la manifestación de fuerza explosiva.

La metodología utilizada por los estudios que determinan el **efecto a largo plazo de un entrenamiento combinado de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos** presenta importantes limitaciones que no permiten obtener conclusiones definitivas. Actualmente, diferentes estudios han demostrado que un programa de entrenamiento combinado de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos incrementa en mayor medida el rendimiento sobre una acción motriz específica que los programas que únicamente comprenden la ejecución de entrenamiento específico (Liow y Hopkins, 2003; Fatouros *et al.*, 2000; Hoff y Almasbakk, 1995; Delecluse *et al.*, 1995) o la ejecución exclusiva de entrenamiento con sobrecargas (Kotzamanidis *et al.*, 2005; Fatouros *et al.*, 2000). Sin embargo, las comparaciones que se realizaron en estos estudios no permiten discriminar si es mejor la ejecución de un programa combinado de ejercicios con sobrecargas y específicos que la ejecución de un programa que en sus primeras fases esté orientado a los ejercicios con sobrecargas y en las siguientes fases lo esté a los ejercicios específicos. Tampoco ninguno de estos estudios determina si en un programa de entrenamiento combinado existen diferencias sobre el rendimiento en acciones motrices específicas cuando la combinación del entrenamiento se realiza en la misma sesión o en distintas sesiones.

Según este análisis, y aunque **no existe evidencia científica**,

probablemente una combinación simultánea de distintos métodos con sobrecargas y de los distintos métodos específicos **puede facilitar la transferencia** de la fuerza determinando un mayor desarrollo de la fuerza explosiva en acciones motrices específicas. En este caso, el porcentaje de tiempo dedicado al entrenamiento con sobrecargas a distintas intensidades y el dedicado al entrenamiento con ejercicios específicos probablemente depende del momento de la temporada asociado al calendario de la competición. En el capítulo 8 se ofrece un análisis más específico sobre este supuesto.

4.4. Desarrollo del equilibrio de fuerza agonista/antagonista, dominante/no dominante

A pesar de las frecuentes contradicciones existentes en la literatura, se puede asumir que el nivel de fuerza muscular y específicamente el equilibrio entre la **ratio de fuerza de los músculos agonistas/antagonistas** y la **ratio de fuerza del lado dominante/no dominante** tienen un papel clave en la **prevención de lesiones** (Croisier *et al.*, 2005). A este respecto se considera necesario controlar tres aspectos básicos: asegurarse de la ausencia de asimetría entre el lado dominante y el no dominante (o para los deportes asimétricos, asegurarse de que ciertos límites de asimetría no son sobrepasados), asegurarse de un equilibrio óptimo entre la fuerza de los músculos flexores y los extensores, y finalmente comprobar que el deportista tiene los niveles de fuerza y la **ratio** de fuerza acordes a su categoría de edad y nivel de práctica (Lehance *et al.*, 2009). En numerosos estudios se ha observado que mas del 50% de los deportistas de elite tienen una **ratio de fuerza inadecuado**, por ejemplo, en lanzadores entre los músculos que aceleran el brazo y los músculos responsables de la desaceleración (Noffal, 2003), y en deportes como el fútbol y el fútbol australiano, entre los músculos flexores y los extensores de la rodilla (Lehance *et al.*, 2009), y en los músculos del tronco asociados al golpeo, el psoas y el cuadrado lumbar (Hides *et al.*, 2008). Además, se ha demostrado que el desequilibrio de fuerza se ha asociado con un **aumento del número de lesiones**, lo que sugiere la necesidad de determinar al inicio de la temporada el equilibrio de fuerza mediante valoración isocinética con el fin de establecer estrategias de prevención (Lehance *et al.*, 2009). Se ha demostrado que el entrenamiento

con sobrecargas es efectivo para la prevención de lesiones (Askling *et al.*, 2003; Wedderkopp *et al.*, 1999). Para ello está indicada la ejecución de ejercicios para mejorar la fuerza de los músculos no dominantes y antagonistas (Lehance *et al.*, 2009; Noffal, 2003). El desequilibrio se ha observado incluso en futbolistas de 15 años y más específicamente en quienes no realizaban entrenamiento con sobrecargas (Iga *et al.*, 2009). El entrenamiento del lado no dominante no debe ser exclusivo del entrenamiento con sobrecargas. Actualmente se sabe que la ejecución de acciones motrices específicas con el lado no dominante incrementa el rendimiento específico tanto del lado dominante como del no dominante (Haaland y Hoff, 2003). Esto tiene también lógicamente evidentes implicaciones prácticas en el proceso de recuperación de una lesión.

Aunque con menos evidencia científica, también se ha destacado la importancia de un adecuado **equilibrio de fuerza en los músculos estabilizadores**, específicamente la importancia del desarrollo de los músculos abdominales y lumbares y de los músculos de la cadera para la prevención de lesiones y la optimización del rendimiento deportivo (Hibbs *et al.*, 2008). Los músculos estabilizadores son responsables del mantenimiento de la postura y de la distribución y absorción de la fuerza. Se piensa que un nivel deficiente de fuerza de los músculos estabilizadores determina una ejecución técnica ineficiente que predispone a un incremento del riesgo de lesión en el deportista (Leetum *et al.*, 2004; Jeffreys, 2002). Sin embargo, no existen investigaciones sobre los programas de estabilización que deben ser realizados por los deportistas de elite.

Síntesis

- Existe evidencia científica para considerar la inclusión de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza explosiva requerida en acciones motrices específicas.
- Aunque sin evidencia científica clara, existen argumentos para recomendar para el desarrollo de la fuerza explosiva un entrenamiento con sobrecargas periodizado en el intervalo máximo de intensidad relativa del 30-100% 1RM, utilizando ejercicios multiarticulares con peso libre, que comprendan ejercicios olímpicos y balísticos, haciendo varias series por grupo muscular del máximo número de repeticiones que

para cada intensidad sea posible mantener con la máxima potencia mecánica.

- En una sesión de entrenamiento con sobrecargas se recomienda ejecutar únicamente 2-3 ejercicios principales, que pueden complementarse con ejercicios orientados al desarrollo de los músculos antagonistas, no dominantes y estabilizadores, así como combinarse con ejercicios específicos. La secuenciación de los ejercicios no debe limitar la potencia desarrollada ni fatigar los músculos estabilizadores, y debe facilitar la transferencia de fuerza.
- La intensidad máxima del entrenamiento con sobrecargas para desarrollar la fuerza explosiva debe considerar la experiencia previa y la reserva actual del deportista, y la resistencia que hay que superar en competición. Sólo para deportistas experimentados que necesiten superar una elevada resistencia en la competición se recomienda el entrenamiento a una intensidad de 1-6RM (100-85% 1RM). En la mayoría de las modalidades deportivas, una intensidad de 6-12RM (85-70% 1RM) es la máxima recomendable, e incluso la máxima intensidad puede ser inferior si la resistencia que se debe superar y/o la reserva actual del deportista son muy bajas.
- El control del peso correspondiente al máximo número de repeticiones posibles es el mejor método para controlar la intensidad relativa con cargas elevadas. En la mayoría de los ejercicios, disminuir progresivamente el peso establecido es suficiente para controlar el desarrollo de la fuerza a intensidades inferiores. En otros ejercicios se requiere una estimación indirecta del %1RM y/o de la potencia máxima desarrollada en el ejercicio y/o establecer cargas de trabajo en función de porcentajes relativos al peso corporal o a otros ejercicios.
- En un ciclo de entrenamiento orientado al desarrollo de la fuerza explosiva requerida en competición, la periodización del entrenamiento de fuerza está asociada a la intensidad y a los ejercicios utilizados. Los ejercicios más básicos como sentadilla y prensa de pecho, ejecutados a la intensidad relativa más alta, deben preceder a ejercicios más específicos, en los que se desarrolla mayor potencia, y a los ejercicios balísticos, en los que progresivamente la intensidad debe aproximarse a la requerida en competición.
- Para el desarrollo de la fuerza explosiva se recomienda ejecutar un máximo de 1-3 repeticiones para una intensidad de 1-6RM, un máximo

de 3-5 repeticiones para una intensidad de 6-12RM y un máximo de 6-10 repeticiones para una intensidad de 12-26RM. Son de esperar importantes variaciones en estas recomendaciones en función de los ejercicios y deportistas, por lo que en la medida de lo posible hay que controlar la potencia desarrollada mediante un encoder lineal.

- Para intensidades de 1-12RM se recomienda ejecutar 6-9 series por grupo muscular para mantener un óptimo volumen de entrenamiento. Para intensidades inferiores a 12RM, el mayor número de repeticiones determina que probablemente la ejecución de 3-6 series sea suficiente para lograr las adaptaciones deseadas. Independientemente de la intensidad, es necesario un descanso de 3-5 min para resintetizar la PCr que permita mantener la potencia máxima en las sucesivas series.
- La frecuencia óptima de entrenamiento con sobrecargas depende de numerosos factores. De forma general se recomienda entrenar 2-3 días a la semana en períodos alejados de la competición y al menos 1 día en períodos próximos a la competición.
- La ejecución de ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza explosiva debe considerar, además de la especificidad de la acción motriz, la ejecución de ejercicios resistidos para transferir la ganancia de fuerza obtenida en el entrenamiento con sobrecargas y la ejecución de ejercicios asistidos que incidan en la reutilización de la energía elástica y la potenciación del reflejo miotático.
- Una sesión para el desarrollo de la fuerza explosiva mediante ejercicios específicos, asistidos y resistidos debe considerar, además de la correcta ejecución técnica, que la combinación de la duración de las repeticiones, el número de repeticiones y series y el descanso entre repeticiones y series sea la adecuada para permitir siempre la máxima velocidad de ejecución.
- Aunque sin evidencia científica clara, existen argumentos para recomendar la ejecución combinada de ejercicios con sobrecargas y específicos en todo el ciclo de entrenamiento orientado a la optimización de la fuerza explosiva. En este caso se debe priorizar el entrenamiento con sobrecargas al inicio del ciclo de entrenamiento y los ejercicios específicos conforme se aproxime la competición.
- La postactivación neural tiene sólida evidencia científica y permite incrementar el rendimiento de una acción motriz específica previa ejecución de ejercicios a intensidad relativa elevada. Sin embargo, su

aplicabilidad para incrementar el rendimiento en competición en distintas acciones motrices específicas, así como la adecuación de los ejercicios, intensidad y recuperación en función de la acción motriz y las características de los deportistas, requieren investigaciones futuras.

- ▶ Aunque la evidencia científica sobre la aplicabilidad del entrenamiento con sobrecargas en la prevención de lesiones no está claramente definida, existen argumentos para recomendar equilibrar el nivel de fuerza entre los músculos agonistas/antagonistas, dominantes/no dominantes y el desarrollo de la fuerza de los músculos estabilizadores.

Cuestionario de asimilación

1. Justifica la utilización de ejercicios multiarticulares con peso libre en el trabajo con sobrecargas.
2. Indica las ventajas que se han asociado a la utilización de los ejercicios olímpicos en el trabajo con sobrecargas.
3. Indica el número de repeticiones que realizarías en el entrenamiento con sobrecargas para desarrollar la fuerza explosiva si dispusieras de un encoder lineal.
4. Justifica la importancia de la ejecución balística de ejercicios con sobrecargas.
5. Establece y justifica el porcentaje relativo de carga al que se obtiene la máxima potencia mecánica en los principales ejercicios utilizados en el entrenamiento con sobrecargas.
6. Define las ventajas que tiene el control de la intensidad de la carga mediante el máximo número de repeticiones posibles respecto a la utilización de un porcentaje relativo a 1RM.
7. Explica qué inconvenientes tiene, cuando la intensidad es relativamente baja, el control de la intensidad de la carga mediante el máximo número de repeticiones posibles, y cómo solucionarías estos inconvenientes.
8. Establece y justifica la secuencia óptima en una sesión de ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas.
9. Define y justifica la secuencia óptima, en un ciclo de entrenamiento

de fuerza explosiva, de la ejecución de ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas y su asociación con la intensidad relativa de carga.

- 10.** Explica los principales factores que determinan la máxima carga relativa utilizada en el entrenamiento con sobrecargas.
- 11.** Define los factores que determinan la frecuencia óptima de entrenamiento con ejercicios con sobrecargas y con ejercicios específicos en un ciclo de desarrollo de la fuerza explosiva.
- 12.** Indica la importancia que tiene el control de la velocidad de ejecución del movimiento sobre el número de repeticiones a ejecutar en los ejercicios con sobrecargas con el objetivo de desarrollar la fuerza explosiva.
- 13.** Define qué posibles consecuencias negativas podrían asociarse a ejecutar las series hasta el fallo muscular para un intervalo de intensidad relativa de 4-12RM.
- 14.** Explica qué posibles consecuencias negativas podrían asociarse a ejecutar menos repeticiones que las que pueden ser realizadas a la máxima potencia mecánica.
- 15.** Indica qué tiempo de descanso entre series es aconsejable para los distintos intervalos de carga relativa si se desea mantener la máxima potencia mecánica.
- 16.** Establece qué consecuencias tiene que realizar poco descanso entre series en el tradicional entrenamiento de la hipertrofia muscular.
- 17.** Reflexiona sobre si 2 sujetos que realizan el mismo número de series y repeticiones por serie con el mismo peso han hecho o no el mismo entrenamiento.
- 18.** Establece qué intervalo de intensidad de carga relativa es probablemente la máxima intensidad aconsejable para el desarrollo de la fuerza explosiva en la mayoría de las modalidades deportivas.
- 19.** Establece qué es lo que determina un posible mayor beneficio mediante la ejecución combinada de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos.
- 20.** Define las ventajas que se obtiene del método de entrenamiento basado en el mantenimiento de la máxima potencia mecánica respecto al método tradicional de entrenamiento con sobrecargas.
- 21.** Establece las ventajas que cabe asociar al método de entrenamiento

basado en el descanso entre repeticiones respecto al método tradicional de entrenamiento con sobrecargas.

- 22.** Indica el principal factor que determina el número de series y repeticiones durante la ejecución de una sesión de ejercicios específicos orientada al desarrollo de la fuerza explosiva.
- 23.** Indica la intensidad óptima para desarrollar la fuerza explosiva en la ejecución de ejercicios específicos.
- 24.** Explica qué se entiende por postactivación neural y qué importancia puede tener para el proceso de entrenamiento.
- 25.** Indica las directrices metodológicas para incrementar la fuerza aplicada cuando desplazamos el propio peso corporal.
- 26.** Indica las directrices metodológicas para incrementar la fuerza aplicada ante un determinado móvil e implemento deportivo.
- 27.** Indica las directrices metodológicas para disminuir el CEA cuando desplazamos el propio peso corporal.
- 28.** Indica las directrices metodológicas para disminuir el CEA cuando aplicamos fuerza ante un determinado móvil.
- 29.** Justifica si el número de repeticiones ejecutadas para el mantenimiento de la potencia máxima debe ser el mismo para todos los ejercicios.
- 30.** Justifica si el número de repeticiones ejecutadas para el mantenimiento de la potencia máxima debe ser el mismo para todos los deportistas.
- 31.** Explica qué evidencia científica actual defiende un posible mayor beneficio del entrenamiento con sobrecargas basado en el mantenimiento de la potencia mecánica respecto al entrenamiento con sobrecargas tradicional.
- 32.** Indica la importancia que se ha asociado al desarrollo equilibrado de la fuerza entre los músculos agonistas/antagonistas y la del lado dominante/no dominante.

Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza resistencia

Alejandro Legaz-Arrese, Luis Enrique Carranza García

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer el mapa conceptual de los medios de entrenamiento para desarrollar la fuerza resistencia.
- Comprender la combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia y su adecuación al nivel del deportista y a la manifestación de fuerza requerida en competición.
- Comprender la combinación óptima de los componentes del entrenamiento con ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza resistencia y su vinculación con la metodología de entrenamiento asociada a la optimización de la resistencia.
- Conocer el estado actual y las limitaciones de la investigación asociada a la programación del entrenamiento de fuerza resistencia.
- Diseñar, sobre la base del conocimiento actual, programas de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza resistencia requerida en las distintas modalidades deportivas.

Índice

5.1. Desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas

Análisis de los componentes del entrenamiento con sobrecargas

- Tipo de acción muscular y selección de ejercicios
- Intensidad o carga asignada a cada ejercicio
- Velocidad de ejecución de las repeticiones
- Número de repeticiones y series, y descanso entre series
- Frecuencia de entrenamiento semanal

Métodos de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia

5.2. Desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios específicos
Síntesis
Cuestionario de asimilación

La base del entrenamiento de la mayoría de las modalidades deportivas que requieren la **optimización de la fuerza resistencia** es el desarrollo de los **factores de rendimiento asociados a las distintas zonas metabólicas** (véase el capítulo 4). Sin embargo, actualmente se considera que es posible también aumentar el rendimiento en estas modalidades deportivas con un trabajo específico de fuerza. Aunque prioritariamente el desarrollo de la fuerza resistencia debe realizarse con **ejercicios específicos, resistidos y asistidos**, también se ha mostrado efectivo un programa de **entrenamiento con sobrecargas** (figura 3.60).

En este apartado mostramos la combinación óptima de los componentes del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza resistencia mediante ejercicios con sobrecargas y mediante ejercicios específicos.

5.1. Desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas

La definición de la combinación óptima de los componentes del **entrenamiento con sobrecargas** para el desarrollo de la fuerza resistencia es una tarea compleja. Esto se debe a la escasa atención que se le ha prestado en la literatura científica y en los manuales de entrenamiento, así como a la variedad de acciones motrices deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia. Mientras que las distintas modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva se caracterizan por acciones acíclicas y cíclicas ejecutadas a máxima velocidad en un corto período de tiempo, las modalidades deportivas que precisan la manifestación de fuerza resistencia difieren significativamente en la magnitud de la resistencia que hay que superar, en la velocidad de manifestación de fuerza y especialmente en la duración del esfuerzo. En este sentido, es difícil encontrar criterios comunes para definir las necesidades de fuerza resistencia que requiere un gimnasta, un corredor de 100 m o un ciclista de ruta.

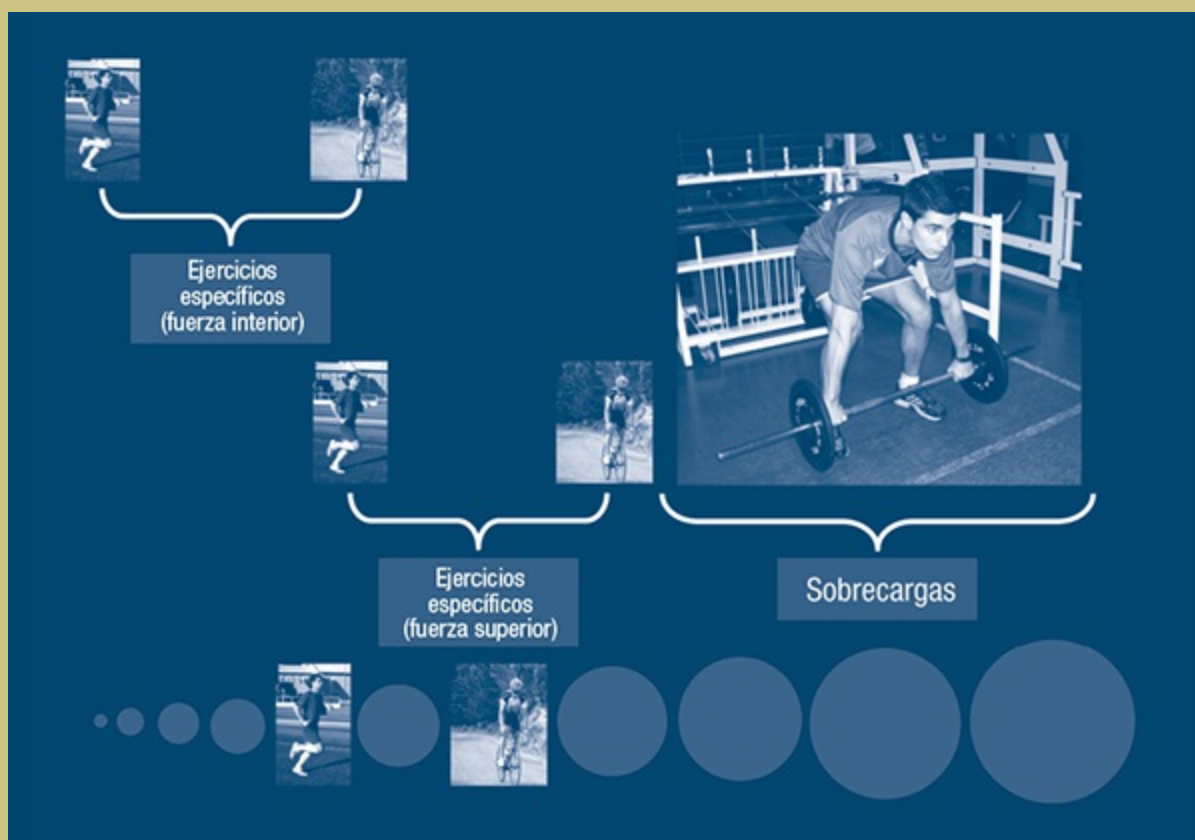


FIGURA 3.60. Mapa conceptual del método para desarrollar la fuerza resistencia en una determinada acción motriz. Aunque los objetivos y componentes del entrenamiento para desarrollar la fuerza resistencia son muy diferentes a los requeridos para el desarrollo de la fuerza explosiva, son necesarias las mismas estrategias para establecer los distintos niveles de entrenamiento: ejercicios específicos, ejercicios específicos asistidos y resistidos, y ejercicios con sobrecargas.

Original de los autores con permiso de los deportistas.

Es coherente afirmar que, para los **esfuerzos de corta duración** en los que se requiere la manifestación de fuerza resistencia a una velocidad de ejecución próxima a la máxima (p. ej., las carreras más cortas de atletismo, natación, ciclismo en pista y patinaje), el método del entrenamiento con sobrecargas debe considerar los **mismos criterios establecidos para el desarrollo de la fuerza explosiva**.

La investigación sobre la efectividad del entrenamiento con sobrecargas en el rendimiento en modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia en **esfuerzos de media y larga duración** es relativamente reciente. Sin embargo, aunque el número de estudios controlados actualmente

es escaso, **existen suficientes argumentos científicos** para considerar la ejecución de sesiones con sobrecargas para optimizar el rendimiento en estas modalidades deportivas.

En un reciente trabajo de revisión, Yamamoto *et al.*, (2008) encontraron cinco estudios de calidad que habían analizado en deportistas de elite la efectividad del entrenamiento de fuerza (en dos estudios, el entrenamiento de fuerza estaba asociado a la ejecución de ejercicios específicos de fuerza explosiva, sin incluir ejercicios con sobrecargas) sobre el rendimiento y/o la economía de esfuerzo en carreras de atletismo comprendidas entre 3 km y maratón. Dos de los cinco estudios observaron un incremento del rendimiento del 2,9% en carreras de 3 y 5 km, y todos los estudios encontraron una mejora del 4,6% (intervalo = 3-8,1%) en la economía de carrera.

En un análisis equiparable, el mismo grupo de investigación encontró también cinco estudios con deportistas de elite analizando la efectividad del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento del ciclismo de ruta (Yamamoto *et al.*, 2010). En todos los estudios se midió la efectividad mediante el rendimiento en una prueba cronometrada o estableciendo el tiempo hasta el agotamiento a una determinada intensidad. En tres de los cinco estudios la inclusión de entrenamiento de fuerza mejoró el rendimiento (en uno de estos estudios el entrenamiento comprendía series de esprín sin ejercicios con sobrecargas). En un reciente estudio especialmente interesante no incluido en la mencionada revisión, Rønnestad *et al.*, (2009) observaron que la inclusión de entrenamiento con sobrecargas en ciclistas de elite produce durante la ejecución de 185 min al 44% de la WAM una reducción durante la última hora de los valores de VO_2 , FC, lactato y percepción de la fatiga. Además, los autores encontraron un incremento de la potencia desarrollada en una prueba cronometrada de 5 km ejecutada después del esfuerzo de larga duración. La efectividad de incluir sesiones de ejercicios con sobrecargas también se ha demostrado en otras modalidades deportivas como remo (Izquierdo-Gabarren *et al.*, 2009) y esquí de fondo (Mikkola *et al.*, 2007a; Hoff *et al.*, 2002).

La **justificación del efecto beneficioso** del entrenamiento con sobrecargas para el rendimiento de las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia en pruebas de media y larga duración comprende una gran variedad de factores. Así, se ha establecido que el entrenamiento con sobrecargas produce un incremento de la fuerza que puede

mejorar la economía de esfuerzo por varios mecanismos (Bieuzen *et al.*, 2007): mejora de la eficiencia mecánica, coordinación muscular y patrón de reclutamiento de unidades motrices, cambios de la técnica de ejecución de la acción motriz y reducción de la intensidad relativa de esfuerzo. Un ejemplo ilustrativo es que el entrenamiento con sobrecargas reduce a una intensidad relativa submáxima la frecuencia de pedaleo asociándose a una mejora de la economía de esfuerzo (Hansen *et al.*, 2007). Esto implica, de acuerdo con Bieuzen *et al.*, (2007), que los ciclistas más fuertes necesitan un menor porcentaje de su fuerza máxima para desplazarse a una misma intensidad relativa que se asocia con un mayor reclutamiento de fibras lentas. Por el contrario, los ciclistas menos fuertes necesitan aumentar la frecuencia de pedaleo debido a su menor capacidad de aplicar fuerza sobre los pedales.

Actualmente no es posible establecer con criterios científicos la **combinación óptima de los componentes del entrenamiento** con sobrecargas que produce una mayor mejora del rendimiento en las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia. Ciertamente, hasta la fecha los investigadores han centrado su objetivo en demostrar la efectividad del entrenamiento con sobrecargas para estas modalidades deportivas, y según nuestros datos únicamente un estudio controlado ha establecido con deportistas de elite el efecto diferencial de distintos programas de entrenamiento (Izquierdo-Gabarren *et al.*, 2009).

Ni siquiera es posible determinar si la inclusión de sesiones de entrenamiento con sobrecargas debe acompañarse o no de una reducción del entrenamiento tradicional de resistencia de estas modalidades. Así, Yamamoto *et al.*, (2010) observaron que en tres de los cinco estudios que evidenciaron mejoras con el entrenamiento de fuerza del rendimiento del ciclismo de ruta el volumen de entrenamiento se había equilibrado reduciendo la cantidad de entrenamiento tradicional de resistencia, mientras que en dos de los cinco estudios que no encontraron beneficio alguno se mantuvo la cantidad de entrenamiento de resistencia, dando lugar, por tanto, a un incremento del volumen total de trabajo. Los autores argumentaron que el efecto diferencial entre los estudios podía ser consecuencia de la fatiga inherente a un aumento del volumen total de entrenamiento. Sin embargo, en el estudio de Rønnestad *et al.*, (2009) se observaron evidentes beneficios en el rendimiento del ciclismo de ruta con la inclusión de sesiones de entrenamiento con sobrecargas sin reducir el volumen de entrenamiento de resistencia. Similar planteamiento se estableció con efectividad para el

rendimiento en remo (Izquierdo-Gabarren *et al.*, 2009), en corredoras (Kelly *et al.*, 2008) y en esquiadores de fondo (Hoff *et al.*, 2002).

Además, los programas de entrenamiento con sobrecargas que han mostrado ser efectivos en los mencionados estudios son tan variados que es difícil encontrar criterios comunes que sirvan de referencia. Como ejemplo mostramos algunas de las características de los programas de entrenamiento de los estudios mencionados. De los tres estudios analizados por Yamamoto *et al.*, (2008) con corredores de elite, Millet *et al.*, (2002) aplicaron un entrenamiento tradicional con una intensidad relativa muy elevada (3-5RM), mientras que Mikkola *et al.*, (2007b) y Saunders *et al.*, (2006) aplicaron un entrenamiento combinado de ejercicios con sobrecargas (6-10RM) y ejercicios específicos de fuerza explosiva (saltos, esprines, etc.). Con corredoras, Kelly *et al.*, (2008) encontraron efectividad sobre el rendimiento de 3 km añadiendo al entrenamiento de resistencia la ejecución de ejercicios con sobrecargas a una intensidad de 5RM. A partir de los dos estudios analizados por Yamamoto *et al.*, (2010) que mostraron la efectividad del entrenamiento con sobrecargas con ciclistas de elite, Bastiaans *et al.*, (2001) establecieron la ejecución de 30 repeticiones ajustando el peso para mantener la máxima velocidad de ejecución durante las primeras 20 repeticiones, mientras que Hickson *et al.*, (1988) aplicaron series de 5 repeticiones al 80% 1RM. Los extraordinarios efectos encontrados por Rønnestad *et al.*, (2009) sobre numerosos parámetros asociados al rendimiento de ciclistas de elite son consecuencia de incluir en el entrenamiento de resistencia un programa periodizado de entrenamiento con sobrecargas que comenzó con la realización a la máxima velocidad de la fase concéntrica de 6-10RM en las primeras semanas y 4-6RM en las últimas semanas. Mikkola *et al.*, (2007a) encontraron efectividad sobre el rendimiento de esquiadores de fondo reduciendo el entrenamiento de resistencia para incluir entrenamiento de fuerza asociado a la combinación de ejercicios con sobrecargas (6-10 repeticiones a máxima velocidad con una intensidad relativamente baja no indicada por los autores) y ejercicios específicos de fuerza explosiva. En cambio, Hoff *et al.*, (2002) también mostraron efectividad sobre el rendimiento de esquiadores de fondo con la ejecución a intensidades elevadas (6 repeticiones al 85% 1RM realizando la fase concéntrica a la máxima velocidad). Izquierdo-Gabarren *et al.*, (2009) encontraron la mayor efectividad sobre el rendimiento en remo añadiendo al entrenamiento de resistencia la ejecución de un entrenamiento periodizado de ejercicios con

sobrecargas a una intensidad comprendida entre el 75% y el 92% 1RM, realizando a la máxima velocidad de ejecución la mitad del máximo número de repeticiones posibles.

Es probable que la efectividad observada con programas de entrenamiento de fuerza tan variados sea consecuencia de la poca experiencia en el entrenamiento de fuerza de estos deportistas. Ciertamente cabe considerar que estos deportistas, aunque de elite, tienen una reserva actual muy baja en el entrenamiento de fuerza, por lo que la inclusión de un nuevo estímulo de entrenamiento puede tener efectos positivos para el rendimiento con independencia de la manipulación de los distintos componentes que determinan el trabajo de fuerza.

No obstante, un análisis de las características de los programas de entrenamiento de los mencionados estudios permite objetivar que la mayoría de los autores han utilizado algunos criterios comunes. La combinación de los componentes del entrenamiento con sobrecargas que se establece a continuación para el desarrollo de la fuerza resistencia está basada, ante la ausencia de argumentos científicos, en un planteamiento reflexivo que discute simultáneamente los programas utilizados en los distintos estudios. Este análisis nos permite definir posteriormente los métodos de entrenamiento de mayor aplicabilidad para el desarrollo de la fuerza resistencia.

Análisis de los componentes del entrenamiento con sobrecargas

Tipo de acción muscular y selección de ejercicios

El CEA es inherente a la mayoría de las acciones que requieren la manifestación de fuerza resistencia. En consecuencia, los **ejercicios con sobrecargas** deben incluir la fase excéntrica y la concéntrica del movimiento. La base del entrenamiento debe incluir ejercicios multiarticulares ejecutados con peso libre y con poleas.

En las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia a una elevada velocidad de ejecución se ha de incidir, además de en la ejecución de ejercicios básicos como sentadilla, prensa de pecho y remo barra, en la de ejercicios olímpicos y balísticos. En las modalidades deportivas que no requieren una elevada velocidad de ejecución, la

realización de ejercicios básicos puede ser suficiente para alcanzar los objetivos deseados. Lógicamente, los ejercicios tienen que considerar la similitud con los grupos musculares y contracción muscular de la acción motriz específica. Para los **corredores**, Kelly *et al.*, (2008) utilizaron sentadilla, flexoextensión de gemelos y caderas, flexión de isquiotibiales en máquina, jalones en polea baja y prensa de pecho; Millet *et al.*, (2002) utilizaron sentadilla paralela, flexoextensión de gemelos, prensa de pierna y flexión de isquiotibiales. Para los **ciclistas**, Rønnestad *et al.*, (2009) incluyeron la ejecución de media sentadilla en máquina Smith, prensa de pierna con un pie, flexión de cadera con un pie y flexoextensión de gemelos; Bastiaans *et al.*, (2001), la ejecución de sentadilla y subida banco, y Hickson *et al.*, (1988), la ejecución de sentadilla paralela y flexoextensiones de cuádriceps e isquiotibiales. Para los **esquiadores de fondo**, Mikkola *et al.*, (2007a) utilizaron los ejercicios de media sentadilla, prensa de pierna, prensa de pecho, *pullower*, jalones en polea alta y remo con barra. Para los **remeros**, Izquierdo-Gabarren *et al.*, (2009) propusieron la ejecución de remo con barra tumbado, jalones en polea baja, jalones en polea alta y cargada. Además, se incluiría la ejecución de ejercicios compensatorios y de estabilización del tronco.

Intensidad o carga asignada a cada ejercicio

Al igual que para la fuerza explosiva, es posible desarrollar la fuerza resistencia con cualquier nivel de **intensidad de carga**. Hay que recordar que en el entrenamiento con sobrecargas se incide en el desarrollo de la fuerza resistencia siempre que se ejecuten para cada intensidad de carga un número de repeticiones superior al máximo número que permite mantener la máxima potencia (tabla 3.18). Sin embargo, el objetivo del entrenamiento con sobrecargas para estas modalidades deportivas es el **desarrollo de un nivel óptimo de fuerza** y no el desarrollo específico con estos ejercicios de la manifestación de fuerza resistencia. Para este objetivo, por tanto, no se requiere obligatoriamente manifestar fuerza resistencia en los ejercicios con sobrecargas.

Sorprendentemente, en bastantes de los estudios que han mostrado la efectividad del entrenamiento con sobrecargas para el rendimiento en pruebas de media y larga duración se ha establecido una intensidad relativa muy elevada (3-6RM) (Rønnestad *et al.*, 2009; Kelly *et al.*, 2008; Hoff *et al.*,

2002; Millet *et al.*, 2002; Hickson *et al.*, 1988). Los argumentos establecidos por algunos de estos autores es que este tipo de entrenamiento afecta positivamente el sistema neuromuscular, pero minimizando la hipertrofia muscular que puede ser perjudicial para la mayoría de estas modalidades deportivas. Por este motivo, casi ningún estudio incluye la ejecución de 6-12RM. Ciertamente, un incremento inadecuado de hipertrofia puede ser negativo para el rendimiento de pruebas de media y larga duración. Sin embargo, tal y como se ha establecido en la metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva, también es posible trabajar los efectos positivos sobre el sistema neuromuscular minimizando la hipertrofia muscular si se plantea un trabajo a una intensidad relativa baja sin ejecutar el máximo número de repeticiones posibles. Este planteamiento no se ha considerado en estos estudios y probablemente puede ser más apropiado, ya que evita en sujetos no experimentados en el entrenamiento de fuerza el trabajo con intensidades elevadas.

TABLA 3.18. Número de repeticiones necesarias para desarrollar la fuerza resistencia a distinta intensidad relativa

<i>RM</i>	<i>%1RM</i>	<i>Repeticiones ejecutadas</i>
2-3	97-94	Más de 1-2 repeticiones
4-6	92-86	Más de 2-3 repeticiones
7-11	83-72	Más de 3-4 repeticiones
12-14	70-64	Más de 4-5 repeticiones
15-18	61-53	Más de 6-7 repeticiones
19-22	50-42	Más de 7-8 repeticiones
23-26	39-30	Más de 8-10 repeticiones

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Original de los autores.

Así, de forma equivalente a lo establecido para la fuerza explosiva, la intensidad óptima de trabajo para el desarrollo de la fuerza resistencia debe ser dependiente del nivel de fuerza requerido en la competición. Una **intensidad de 1-6RM** (100-85% 1RM) únicamente es de aplicación para las

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

modalidades deportivas en las que se manifiesta la fuerza resistencia en acciones dinámicas que requieren superar una magnitud de carga muy elevada o en acciones isométricas en las que la manifestación de fuerza se puede mantener durante poco tiempo (p. ej., rugby, gimnasia deportiva, escalada, deportes de combate, etc.). Una **intensidad de 6-12RM** (85-90% 1RM) probablemente es la más adecuada para las modalidades deportivas que necesitan la aplicación de fuerza resistencia a una elevada velocidad de ejecución (p. ej., las carreras cortas de atletismo, natación, patinaje y ciclismo en pista) y para las modalidades deportivas que necesitan la manifestación de fuerza resistencia ante una magnitud de carga relativamente elevada y en las que además el rendimiento está asociado a un elevado desarrollo de la hipertrofia muscular (p. ej., remo, piragüismo y las distancias de duración media de natación). Para las restantes modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia, probablemente una **intensidad inferior a 12RM** (<70% 1RM) es la máxima recomendable, e incluso para las pruebas de mayor duración puede ser suficiente trabajar a una intensidad relativamente inferior (50-60% 1RM).

Velocidad de ejecución de las repeticiones

En los **esfuerzos de corta duración** se requiere la manifestación de fuerza resistencia a una elevada velocidad de ejecución. Consideramos que el entrenamiento con sobrecargas de estas disciplinas no debe variar sustancialmente del indicado para el desarrollo de la fuerza explosiva. Así, la ejecución de las repeticiones debe realizarse a la **máxima velocidad posible**. Para los **esfuerzos de media y larga duración**, una **velocidad de ejecución controlada** en las fases concéntrica y excéntrica del movimiento se ajusta más a la relación fuerza/tiempo/velocidad y a las características de reclutamiento de fibras musculares inherentes al contexto de competición.

No obstante, sorprende nuevamente que algunos de los estudios analizados hayan considerado la ejecución de la fase concéntrica a la máxima velocidad posible (Izquierdo-Gabarrén *et al.*, 2009; Rønnestad *et al.*, 2009; Mikkola *et al.*, 2007a; Hoff *et al.*, 2002; Bastianns *et al.*, 2001) y que en los restantes estudios no se haya definido criterio alguno. Aunque en ninguno de estos estudios los autores han establecido una justificación para decidir la ejecución de la fase concéntrica a la máxima velocidad, es probable que nuevamente la explicación esté asociada a los temores de que una ejecución lenta induzca un

aumento de la hipertrofia muscular. No obstante, en la mayoría de estos estudios finalmente la velocidad de ejecución es lenta debido a que se hace para cada intensidad de carga el máximo número de repeticiones posibles. Nuevamente, consideramos que, si no se ejecuta el máximo número de repeticiones, es posible con una intensidad de carga menor y sin exigir la máxima velocidad de ejecución aproximarnos en mayor medida al reclutamiento de unidades motrices característico de estas modalidades deportivas y simultáneamente evitar el desarrollo excesivo de hipertrofia muscular. No obstante, lógicamente son necesarios estudios que confirmen esta hipótesis.

Número de repeticiones y series, y descanso entre series

De acuerdo con González Badillo *et al.*, (2003), el **número de repeticiones** recomendadas para el desarrollo de la fuerza resistencia en el entrenamiento con sobrecargas **no debe ser excesivo**. Hay que considerar que, para la mayoría de las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia, no es posible en el entrenamiento con sobrecargas simular el patrón de reclutamiento de unidades motrices que se manifiesta en la competición. Por ejemplo, aun ejecutando de 20 a 40 repeticiones, la duración del esfuerzo y el número de repeticiones es muy inferior al número de ciclos y duración del esfuerzo que se requiere en las modalidades deportivas cíclicas. Recordamos nuevamente que, para estas modalidades deportivas, el objetivo del entrenamiento con sobrecargas es desarrollar un nivel óptimo de fuerza, trabajando de forma específica la fuerza resistencia mediante las series de repeticiones del gesto específico de competición. De hecho, como se ha indicado anteriormente, en la mayoría de los estudios el número de repeticiones ejecutadas en cada serie es relativamente bajo.

Otro aspecto de interés, asociado fundamentalmente a la ejecución a intensidades relativamente elevadas, es si es necesario para el desarrollo de la fuerza resistencia la ejecución del máximo número de repeticiones que permite cada intensidad de carga. Aunque es difícil responder a esta pregunta, hay que considerar que ninguna modalidad deportiva se caracteriza por la ejecución de acciones dinámicas hasta el fallo muscular. En las modalidades deportivas que requieren la ejecución de acciones estáticas próximas al fallo muscular (p. ej., escalada y gimnasia deportiva), el tiempo que se puede

mantener la aplicación de fuerza o, en su caso, la manifestación de un mayor nivel de fuerza dependen probablemente en mayor medida del nivel de fuerza máxima del deportista. En este sentido, nuevamente parece más adecuado el desarrollo de los niveles de fuerza mediante el entrenamiento con sobrecargas, y el de la fuerza resistencia realizando las acciones motrices específicas. Además, llegar hasta el fallo muscular implica hacer un número de repeticiones considerablemente inferior en las sucesivas series, o, en su caso, para mantener el número de repeticiones, disminuir el peso. Por ejemplo, durante la ejecución de 8RM hasta el fallo muscular (véase la figura 3.56), sólo es posible realizar en la 4ª serie 5-6 repeticiones si se deja un tiempo de descanso entre series de 5 min, y 4-5 repeticiones si el descanso es de 2 min (Willardson y Burkett, 2005). Los mismos autores observaron, para distintos intervalos de descanso, un descenso muy elevado del número de repeticiones durante la ejecución de series a una intensidad de 15RM (Willardson y Burkett, 2006a) (figura 3.61).

Constatemos nuevamente que en la mayoría de los estudios que han mostrado la efectividad del entrenamiento con sobrecargas sobre parámetros del rendimiento en pruebas de media y larga duración se ha propuesto un programa donde en cada una de las series se requiere del deportista llegar hasta el fallo muscular (Rønnestad *et al.*, 2009; Kelly *et al.*, 2008; Mikkola *et al.*, 2007b; Saunders *et al.*, 2006; Hoff *et al.*, 2002; Millet *et al.*, 2002; Hickson *et al.*, 1988). La explicación probablemente está determinada por la aplicación de las características de los programas tradicionales de entrenamiento con sobrecargas. Para una modalidad deportiva como el remo, donde podría tener un mayor significado el entrenamiento hasta el fallo muscular que en modalidades de correr y pedalear, Izquierdo-Gabarren *et al.*, (2009) observaron mayores beneficios en un grupo de deportistas que hicieron la mitad de las repeticiones posibles para cada intensidad de carga que en un grupo que ejecutó cada serie hasta el fallo muscular.

Basándose en este análisis se recomienda hacer, para una **intensidad de 3-6RM**, 1-2 repeticiones menos del máximo número de repeticiones posibles, 2-3 repeticiones menos de las posibles para una **intensidad de 6-12RM** y un máximo de 10-15 repeticiones para el intervalo de **intensidad de 12-26RM**. En las modalidades deportivas que requieren la aplicación de fuerza resistencia a una elevada velocidad de ejecución (p. ej., las carreras cortas de atletismo, natación, patinaje y ciclismo) consideramos que el entrenamiento con sobrecargas debe incidir en el desarrollo de la fuerza y de la potencia

máximas, ejecutando únicamente el máximo número de repeticiones que permiten mantener la máxima potencia mecánica para cada intensidad de carga.

La ejecución de **4 series** por ejercicio puede ser suficiente durante el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia. De hecho, en la mayoría de los mencionados estudios se estableció un intervalo de 3-5 series (Izquierdo-Gabarren *et al.*, 2009; Rønnestad *et al.*, 2009; Kelly *et al.*, 2008; Mikkola *et al.*, 2007a,b; Millet *et al.*, 2002; Bastiaans *et al.*, 2001; Hickson *et al.*, 1988). Si el intervalo de descanso es suficiente, probablemente es posible ejecutar en todas las series el número de repeticiones recomendadas para cada intensidad de carga sin necesidad de disminuir el peso establecido. Aunque para el desarrollo de la fuerza resistencia tradicionalmente se ha recomendado un período breve de descanso entre series, consideramos necesarios **2 min de descanso** para mantener el número de repeticiones establecidas en el intervalo de 2-12 RM. Para una intensidad inferior, como el número de repeticiones recomendadas se aleja en mayor medida del máximo número de repeticiones posibles, es probable que un período de descanso entre series de 1-2 min sea el adecuado.

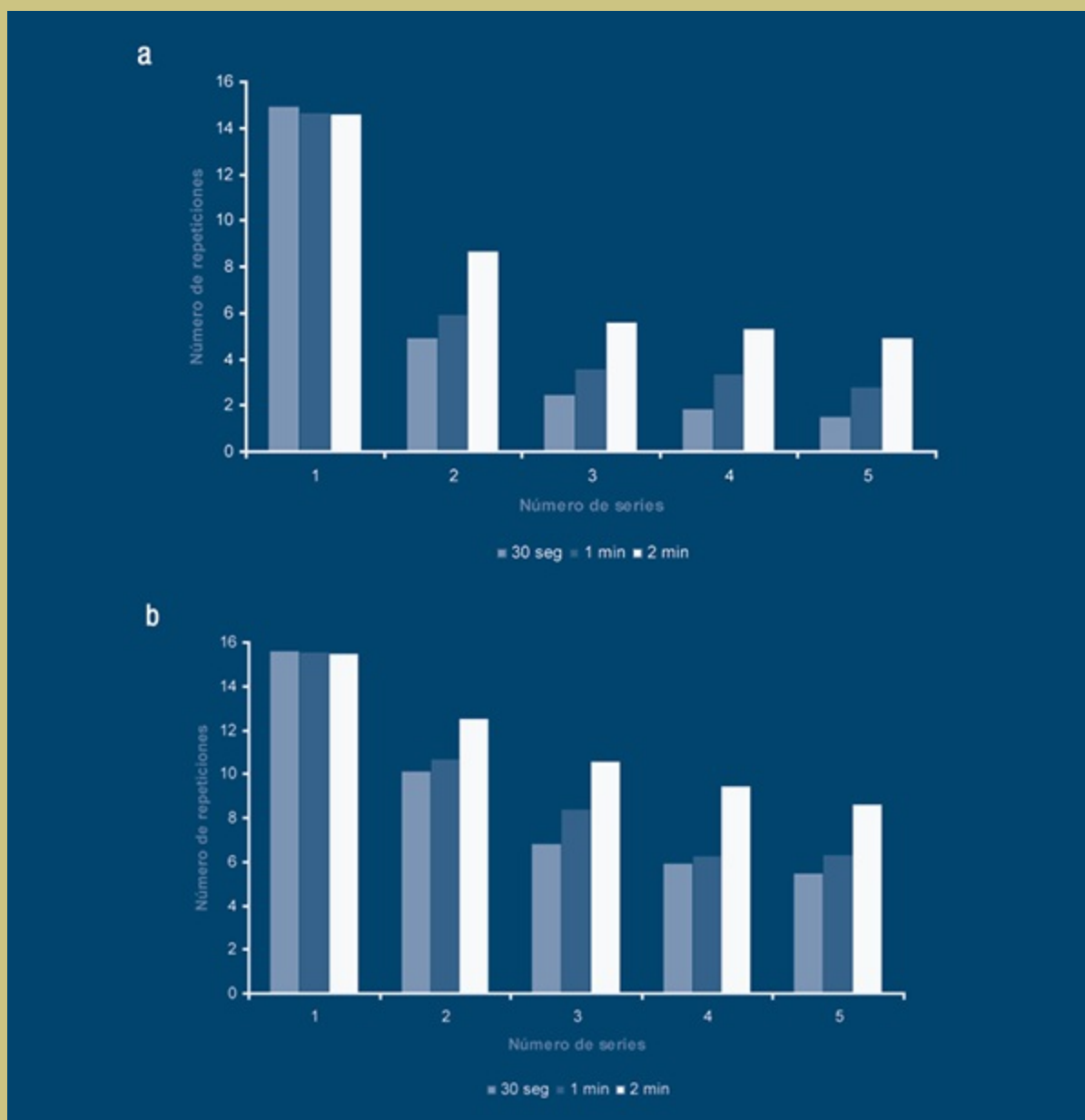


FIGURA 3.61. Disminución del número de repeticiones a una intensidad de 15RM durante la ejecución de sucesivas series de prensa de pecho (a) y sentadilla (b) en función del tiempo de recuperación. Una vez establecido el peso correspondiente a una determinada intensidad relativa (en este caso 15RM), la ejecución de las sucesivas series no permite mantener el número de repeticiones. El descenso del número de repeticiones es más acusado cuanto menor es el descanso y en la ejecución de ejercicios del tren superior. Obsérvese con la ayuda del texto que, aunque para el desarrollo de la fuerza resistencia no es necesario habitualmente mantener una elevada velocidad de ejecución, este tipo de entrenamiento es inespecífico para la mayoría de las modalidades deportivas que requieren el desarrollo de la fuerza resistencia.

Adaptado de Willardson JM y Burkett LN. J Strength Cond Res 2006a;20:400-3.

Frecuencia de entrenamiento semanal

En todos los estudios que han determinado la efectividad del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia se ha fijado la ejecución de 2-3 sesiones a la semana. Sin embargo, estos trabajos establecen períodos de entrenamiento relativamente cortos, 6-12 semanas. Consideramos que, de forma equivalente a lo establecido para el desarrollo de la fuerza explosiva, la **frecuencia óptima de entrenamiento** con sobrecargas para la manifestación de fuerza resistencia **depende de numerosos factores**. En general, una frecuencia de 2-3 días semanales probablemente es la óptima en las modalidades deportivas que tienen relativamente elevadas necesidades de fuerza: escalada, rugby, deportes de combate, remo, piragüismo y esfuerzos cíclicos de corta duración en atletismo, natación, patinaje y ciclismo en pista. En estos deportes, una frecuencia de 1-2 días a la semana puede ser suficiente en períodos próximos a las competiciones principales. En esfuerzos cíclicos de media y larga duración probablemente se requiere una frecuencia de 2 días a la semana en períodos alejados de las competiciones principales y de 1 día en períodos próximos a estas competiciones. Además, la frecuencia de entrenamiento depende del sistema de planificación utilizado.

Métodos de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia

En las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia a elevada velocidad de ejecución probablemente lo más adecuado es la aplicación en el entrenamiento con sobrecargas de los métodos asociados al desarrollo de la fuerza explosiva: método de 6-12RM a potencia máxima para inducir adaptaciones asociadas al desarrollo de la fuerza máxima, y método de 12-26RM para inducir adaptaciones asociadas al desarrollo de la potencia máxima.

Al igual que para la fuerza explosiva, la **definición de los métodos de trabajo con sobrecargas** para el desarrollo de la fuerza resistencia están determinados por la **intensidad de la carga**. Nuevamente conviene recordar que la definición de estos métodos de entrenamiento es un planteamiento básico que el entrenador de cada deporte debe adaptar en función del

conocimiento específico de su modalidad deportiva.

Método de 2-6RM de fuerza resistencia

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.19 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 2-6RM de fuerza resistencia**.

Excepto para una intensidad de 2RM, se recomienda la ejecución de **1-2 repeticiones menos del máximo número posible**. Esto permite incidir en el desarrollo de la fuerza resistencia sin llegar hasta el fallo muscular, lo que probablemente asegura que en las sucesivas series se pueda ejecutar el número de repeticiones programadas. Como el objetivo no es el desarrollo de la potencia máxima, se recomienda una **velocidad moderada** en la ejecución de las repeticiones. La realización de **3-4 series** por ejercicio puede garantizar un óptimo volumen de entrenamiento. Se recomienda hacer ejercicios multiarticulares básicos como sentadilla, prensa de pecho y remo. Probablemente se requiere **2 min de descanso** para mantener las repeticiones programadas durante la ejecución de las sucesivas series.

TABLA 3.19. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia a una intensidad de 2-6RM (97-85% 1RM)

Método de 2-6RM de fuerza resistencia						
RM	%1RM	Repeticiones ejecutadas	Velocidad concéntrica	Series	Descanso	Ejercicios
2	97,2	2	Moderada	3-4	2 min	Multiarticular con peso libre – sentadilla – prensa pecho – remo
3	94,4	2				
4	91,7	2-3				
5	88,9	3-4				
6	86,1	4-5				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Original de los autores.

Objetivos de trabajo

Este método de trabajo está orientado al reclutamiento de fibras tipo II,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

especialmente las fibras tipo IIA durante las primeras repeticiones y la participación progresiva al incrementar el número de repeticiones de las fibras tipo I. El efecto de este método de trabajo es combinado, **incremento de fuerza máxima** debido a la elevada intensidad de carga y desarrollo de la **fuerza resistencia con cargas muy elevadas** asociado además al desarrollo de la hipertrofia muscular cuando se ejecuta una intensidad de 4-6RM.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

El método de 2-6RM de fuerza resistencia supone un nivel de intensidad muy elevado. Desde esta perspectiva, sólo es aplicable a **sujetos experimentados en el entrenamiento de fuerza** y que requieran superar en competición una **resistencia externa elevada**, sea en acciones dinámicas o isométricas (p. ej., rugby, gimnasia deportiva, escalada, deportes de combate, etc.)

Método de 6-12RM de fuerza resistencia

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.20 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 6-12RM de fuerza resistencia**.

El planteamiento de este método de trabajo es similar al establecido para una intensidad superior. Ejecutar un elevado número de repeticiones sin llegar hasta el fallo muscular (**2-3 repeticiones menos del máximo número posible**) a una **velocidad moderada**, un máximo de **3-4 series** por ejercicio con un descanso entre series de **2 min**.

Objetivos de trabajo

Este método de trabajo probablemente incide específicamente en el reclutamiento y agotamiento de fibras tipo IIA y en una elevada participación de las fibras tipo I. El efecto de este método de trabajo también es combinado, **incremento de fuerza máxima**, de **fuerza resistencia con cargas altas** y de **hipertrofia muscular selectiva**. Sin embargo, debido a la menor intensidad de carga y al mayor número de repeticiones se incide de

forma más específica en el desarrollo óptimo de la hipertrofia muscular.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

El método de 6-12RM de fuerza resistencia debe aplicarse prioritariamente en las modalidades que requieren la manifestación de fuerza resistencia ante una **magnitud de carga relativamente elevada** y en las que además el rendimiento está asociado a un elevado desarrollo de hipertrofia muscular (p. ej., remo, piragüismo y las distancias de media duración de natación). Este método también es apropiado para el entrenamiento de los deportistas poco experimentados en el entrenamiento de fuerza, pero que requieren en su modalidad deportiva el trabajo a una intensidad más elevada.

TABLA 3.20. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia a una intensidad de 6-12RM (85-70% 1RM)

Método de 6-12RM de fuerza resistencia						
RM	%1RM	Repeticiones ejecutadas	Velocidad concéntrica	Series	Descanso	Ejercicios
7	83,3	4-5	Moderada	3-4	2 min	Multiarticular con peso libre – sentadilla – prensa pecho – remo
8	80,5	5-6				
9	77,8	6-7				
10	75,0	7-8				
11	72,2	8-9				
12	69,4	9-10				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Original de los autores.

Método de 12-26RM de fuerza resistencia

Componentes del entrenamiento

En la tabla 3.21 se establece la combinación óptima de los componentes de entrenamiento del **método de 12-26RM de fuerza resistencia**.

En relación con intensidades superiores, en este intervalo de trabajo el número de repeticiones recomendadas se aleja considerablemente del fallo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

muscular (**máximo 10-15 repeticiones**) porque el objetivo en sí mismo no es el desarrollo de la fuerza resistencia. Las repeticiones deben ejecutarse a **velocidad moderada**. Se recomienda igualmente la ejecución de **3-4 series**. Al disminuir el número de repeticiones respecto al máximo número de repeticiones posibles, probablemente **1-2 min de descanso** es suficiente para la ejecución de las sucesivas series. Para este intervalo de intensidad, es posible incluir otros ejercicios que sean más específicos del movimiento de las modalidades deportivas a los que va dirigido, por ejemplo, subida al banco o *split* para las carreras en atletismo.

Objetivos de trabajo

El objetivo de este método de trabajo no es el desarrollo específico de la fuerza resistencia. Un trabajo a esta intensidad, ejecutando un número de repeticiones considerablemente inferior al máximo número de repeticiones posible, únicamente permite inducir el desarrollo de **niveles óptimos de fuerza** en deportistas poco experimentados en el entrenamiento de fuerza y que requieren la aplicación de fuerza resistencia durante esfuerzos continuos de media y larga duración.

TABLA 3.21. Combinación óptima de los componentes del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia a una intensidad de 12-26RM (70-30% 1RM)

Método de 12-26RM de fuerza resistencia						
<i>RM</i>	<i>%1RM</i>	<i>Repeticiones ejecutadas</i>	<i>Velocidad concéntrica</i>	<i>Series</i>	<i>Descanso</i>	<i>Ejercicios</i>
13	66,6	9-10	Moderada	3-4	1-2 min	Multiarticular con peso libre – sentadilla – prensa pecho – subida banco – <i>split</i> – remo
14	63,9	9-10				
15	61,1	10-11				
16	58,3	10-11				
17	55,5	11-12				
18	52,7	11-12				
19	50,0	12-13				
20	47,2	12-13				
21	44,4	13-14				
22	41,6	13-14				
23	38,8	14-15				
24	36,1	14-15				
25	33,3	14-15				
26	30,5	14-15				

La relación entre el %1RM y el número máximo de repeticiones se establece con la ecuación de Brzycki (1993).

Original de los autores.

Adecuación a las características de los deportistas y modalidades deportivas

La intensidad más elevada de esta zona de trabajo puede servir para iniciar en el entrenamiento con sobrecargas a aquellos deportistas que requieren la manifestación de fuerza resistencia con el desarrollo simultáneo de una elevada hipertrofia muscular. Sin embargo, este método de trabajo está orientado básicamente al desarrollo de niveles óptimos de fuerza para los **esfuerzos continuos de media y larga duración**.

5.2. Desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios específicos

Ciertamente, algunos de los estudios que han establecido la efectividad del

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

entrenamiento de fuerza para optimizar el rendimiento en modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia han utilizado la ejecución de ejercicios específicos, aislados o en combinación con ejercicios con sobrecargas (Mikkola *et al.*, 2007b; Saunders *et al.*, 2006; Paton y Hopkins, 2005; Spurrs *et al.*, 2003; Paavolainen *et al.*, 1999). En estos estudios el programa de entrenamiento mediante ejercicios específicos estuvo orientado al desarrollo de la fuerza explosiva (p. ej., saltos y esprines a máxima intensidad). Este tipo de programa de entrenamiento probablemente no es el más específico para pruebas de media y larga duración, pero recordemos de nuevo que la inclusión de cualquier programa orientado al desarrollo de la fuerza puede ser efectivo en estos deportistas.

Desde nuestra perspectiva, aunque se pueda incluir sesiones orientadas al desarrollo de la fuerza explosiva, el desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de **ejercicios específicos** debería simular la acción motriz con parámetros de fuerza equiparables a los de competición (**método específico de fuerza resistencia**) y la utilización de diferentes estrategias que incrementen o disminuyan el nivel de fuerza que debe manifestarse en la misma (**método específico resistido de fuerza resistencia** y **método específico asistido de fuerza resistencia**). El método específico asistido de fuerza resistencia tiene como objetivo preparar al deportista para un trabajo de mayor nivel de resistencia (como, por ejemplo, una ruta de escalada de menor dificultad) e incrementar el nivel de frecuencia de movimientos en los esfuerzos cíclicos.

Para las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia en acciones isométricas o en acciones dinámicas con necesidades muy elevadas de fuerza que se suceden de forma intermitente, el lector, mediante el análisis realizado para la fuerza explosiva, tiene las suficientes herramientas para plantear distintas estrategias de un entrenamiento resistido y asistido. En cambio, para la mayoría de las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia, los movimientos son cíclicos de distinta duración. En este caso, el entrenamiento resistido y el asistido tienen unos condicionantes diferenciados tanto en las posibles estrategias planteadas como en su influencia sobre los procesos fisiológicos asociados a las distintas **zonas metabólicas**. Por este motivo, el análisis de los métodos específicos de los esfuerzos continuos se ha realizado en el capítulo 4.

Síntesis

- ▶ En las modalidades deportivas que, como las carreras cortas de atletismo, natación, ciclismo en pista y patinaje, requieren la manifestación de fuerza resistencia a una velocidad de ejecución próxima a la máxima, la metodología del entrenamiento de fuerza mediante ejercicios con sobrecargas y específicos debe considerar los mismos criterios establecidos para el desarrollo de la fuerza explosiva.
- ▶ A pesar de que la investigación sobre la efectividad del entrenamiento de fuerza para la mejora del rendimiento en las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia en esfuerzos de media y larga duración es escasa, existen suficientes argumentos científicos para considerar la utilización de ejercicios con sobrecargas y específicos.
- ▶ El efecto beneficioso del entrenamiento de fuerza en pruebas de media y larga duración está fundamentalmente determinado por una mejora de la economía de esfuerzo. Entre otros factores, esta mejora probablemente es consecuencia de que para una misma intensidad relativa el deportista precisa un menor porcentaje de fuerza y puede hacer el esfuerzo con una mayor participación de las fibras lentas.
- ▶ El objetivo perseguido en el entrenamiento con sobrecargas para los esfuerzos de media y larga duración es el desarrollo de un nivel óptimo de fuerza máxima, considerando que la optimización de la fuerza resistencia debe realizarse con la acción motriz específica.
- ▶ Los programas de entrenamiento de fuerza que han mostrado ser efectivos para el rendimiento en pruebas de media y larga duración difieren considerablemente entre los estudios. Es probable que para estos deportistas, que se caracterizan por tener poca experiencia en el entrenamiento de fuerza, cualquier programa suponga un estímulo novedoso que produzca adaptaciones positivas para el rendimiento.
- ▶ Son casi inexistentes los estudios que han centrado su objetivo en determinar el efecto diferencial de la combinación de los distintos componentes del entrenamiento con sobrecargas para la optimización del rendimiento en pruebas de media y larga duración. Por ello, la combinación óptima de los componentes del entrenamiento sólo puede establecerse mediante un planteamiento reflexivo.
- ▶ Sorprendentemente, el criterio más común de los programas de entrenamiento con sobrecargas que han mostrado ser efectivos para el

rendimiento en pruebas de media y larga duración es la ejecución tradicional para una intensidad de 3-6RM (3-4 series de 3-4 ejercicios, máximo número de repeticiones posibles, máxima velocidad de ejecución en la fase concéntrica y descanso entre series de 3-5 min). Probablemente, el argumento para la utilización de este programa de entrenamiento es perseguir efectos beneficiosos para el sistema neuromuscular minimizando la hipertrofia muscular, que se considera negativa para la mayoría de estas modalidades deportivas.

- A pesar de que no existe evidencia científica, hemos establecido argumentos para considerar que el desarrollo del nivel óptimo de fuerza máxima requerido en pruebas de media y larga duración la intensidad máxima debe ajustarse en función de la magnitud de carga de competición, y no es necesario ejecutar las repeticiones a máxima velocidad ni llegar hasta el fallo muscular.
- El método de 2-6RM de fuerza resistencia considera la ejecución de 1-2 repeticiones menos de las posibles. El método de 6-12RM de fuerza resistencia establece la ejecución de 2-3 repeticiones menos de las posibles. El método de 12-26RM considera la ejecución de un máximo de 10-15 repeticiones. En todos los métodos se establece la ejecución de 3-5 series de 3-4 ejercicios principales, velocidad de ejecución moderada y descanso de 2 min entre series.
- Se recomienda un entrenamiento priorizado, considerando el método de 2-6RM únicamente para las modalidades deportivas en que se requiere superar una magnitud de carga muy elevada (p. ej., rugby, gimnasia deportiva, escalada, deportes de combate). El método de 6-12RM debe considerarse el de mayor intensidad para las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia ante una magnitud de carga relativamente elevada y en las que no es especialmente relevante la acción de la gravedad (p. ej., remo, piragüismo, natación). Para el resto de pruebas de media y larga duración se recomienda la intensidad máxima correspondiente al método 12-26RM. Para la aplicación de estos métodos hay que considerar además, para cualquier modalidad deportiva, el momento de la temporada y la experiencia previa de los deportistas en el entrenamiento de fuerza.
- La frecuencia óptima de entrenamiento con sobrecargas depende de numerosos factores. De forma general se recomienda en períodos alejados de la competición realizar 2-3 sesiones a la semana de

entrenamiento con sobrecargas para las modalidades que requieren altos niveles de fuerza, y 1-2 sesiones para las modalidades que requieren superar una magnitud de carga relativamente baja. En períodos próximos a la competición, y dependiendo del sistema de planificación utilizado, se recomienda un máximo de 1-2 sesiones.

- Aunque la ejecución de acciones motrices específicas a la máxima intensidad ha mostrado ser efectiva para el rendimiento en pruebas de media y larga duración, consideramos que los ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza resistencia deben adecuarse a las zonas metabólicas requeridas en competición. Por este motivo, el análisis de los métodos específicos se realiza en el capítulo de resistencia.
- De forma equivalente a lo establecido para el desarrollo de la fuerza explosiva, el entrenamiento de fuerza resistencia debe considerar la compensación muscular y la estabilización de los músculos del tronco.

Cuestionario de asimilación

1. Justifica qué debes priorizar en el desarrollo de la fuerza resistencia, el entrenamiento con sobrecargas o el entrenamiento con ejercicios específicos.
2. Enumera las modalidades deportivas en las que se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza es efectivo para optimizar el rendimiento.
3. Indica el principal factor asociado al rendimiento de pruebas de media y larga duración que mejora con el entrenamiento de fuerza.
4. Señala cuál es el objetivo principal del entrenamiento con sobrecargas para las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza resistencia.
5. Indica los ejercicios con sobrecargas más adecuados para el desarrollo de la fuerza resistencia.
6. Enumera los ejercicios con sobrecargas más adecuados para el desarrollo de la fuerza resistencia en las modalidades deportivas que requieren una velocidad de desplazamiento próxima a la máxima.
7. Establece las características del programa de entrenamiento con sobrecargas que habitualmente han utilizado los investigadores para

determinar su efectividad sobre el rendimiento en pruebas de media y larga duración.

- 8.** Explica los argumentos que determinan la intensidad adecuada y el número de repeticiones óptimo en un programa de entrenamiento con sobrecargas orientado a la optimización del rendimiento de las modalidades que requieren la manifestación de fuerza resistencia.
- 9.** Cita ejemplos de modalidades deportivas en las que se requiera desarrollar la fuerza resistencia con una intensidad relativa de 2-6RM.
- 10.** Establece ejemplos de modalidades deportivas en las que se requiera desarrollar la fuerza resistencia con una intensidad máxima de 6-12RM.
- 11.** Cita ejemplos de modalidades deportivas en las que se requiera desarrollar la fuerza resistencia con una intensidad máxima inferior a 12RM.
- 12.** Establece la velocidad óptima de ejecución de las repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia en función de su manifestación en las distintas modalidades deportivas.
- 13.** Explica por qué el número de repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia no debe ser excesivo.
- 14.** Justifica por qué el número de repeticiones en el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia no debe habitualmente llegar hasta el fallo muscular.
- 15.** Establece el número óptimo de repeticiones recomendado en el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia en función de los distintos intervalos de intensidad relativa de carga.
- 16.** Fija el tiempo de descanso recomendado entre series en el entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia en función de los distintos intervalos de intensidad relativa de carga.
- 17.** Establece la frecuencia semanal recomendada de entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza resistencia en función de su manifestación en las distintas modalidades deportivas y del período de

la temporada.

- 18.** Explica la relación entre el desarrollo de la fuerza resistencia mediante la ejecución de ejercicios específicos y la utilización de métodos tradicionales de desarrollo de la resistencia.

Evaluación y control de la fuerza explosiva

Alejandro Legaz-Arrese, Miguel Vélez Blasco,
Luis Enrique Carranza García

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer la diferencia y aplicabilidad de determinar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva.
- Conocer los principales tests y el instrumental requerido para medir variables asociadas a la manifestación de fuerza explosiva en acciones motrices específicas.
- Conocer los principales tests, el instrumental requerido y las directrices metodológicas básicas para medir variables que permitan reorientar el entrenamiento de fuerza explosiva en las distintas modalidades deportivas.
- Seleccionar los tests más adecuados para evaluar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva en las distintas modalidades deportivas, e interpretar sus resultados para reorientar el entrenamiento.

Índice

- 6.1. Pruebas para determinar el efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva
 - Acción motriz de salto
 - Acción motriz de lanzamiento y golpeo
 - Acción motriz de desplazamiento
- 6.2. Pruebas para determinar los efectos parciales y reorientar el entrenamiento de fuerza explosiva
 - Reorientación del entrenamiento mediante parámetros obtenidos en ejercicios con sobrecargas
 - Determinación directa e indirecta de 1RM
 - Determinación de la curva fuerza-velocidad y curva potencia-velocidad
 - Reorientación del entrenamiento mediante parámetros obtenidos en acciones motrices específicas
 - Acción motriz de salto

- Acción motriz de lanzamiento y golpeo
- Acción motriz de desplazamiento

Síntesis

Cuestionario de asimilación

A pesar de que la fuerza constituye la base condicional y representa un factor de rendimiento específico en la mayoría de las modalidades deportivas, su determinación como control del proceso de entrenamiento ha estado ausente hasta hace no muchos años. Tradicionalmente, y sólo en el propio contexto del entrenamiento, la evaluación de la fuerza se ha limitado habitualmente a la determinación de 1RM en distintos ejercicios. Posteriormente, a partir del diseño de las plataformas de contacto, se extendió el uso de los tests de salto de Bosco. Bajo las premisas del desarrollo tecnológico y la importancia que ha adquirido la fuerza como factor determinante del rendimiento, han aparecido en los últimos años una gran variedad de sistemas y aparatos de elevada utilidad práctica: plataforma de contacto, plataforma de infrarrojos, plataforma de fuerza, células fotoeléctricas, radar, láser, acelerómetro, encoder digital, etc. El objetivo de este apartado es describir y analizar la utilidad de estos aparatos y de los tests que permiten determinar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva, y su aplicabilidad para reorientar el programa de entrenamiento. No se aborda en este apartado el control y evaluación de la fuerza resistencia porque, para la mayoría de las modalidades deportivas, los tests coinciden con los establecidos para la evaluación de la capacidad de resistencia requerida en competición.

6.1. Pruebas para determinar el efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva

En la actualidad existe una gran variedad de tests de campo y de laboratorio para determinar el efecto del entrenamiento sobre las distintas manifestaciones de fuerza. Son numerosos los estudios que determinan los efectos diferenciales de distintos programas de entrenamiento mediante variables que presumiblemente están asociadas al rendimiento de las tareas motrices específicas, por ejemplo, los cambios observados en un determinado ejercicio en los valores de 1RM, en la potencia máxima y en la curva fuerza-velocidad.

Aunque numerosos estudios establecen una relación entre los valores de 1RM y de la potencia máxima con el rendimiento en acciones motrices específicas (p. ej., aceleraciones, saltos, lanzamientos y golpes), desde

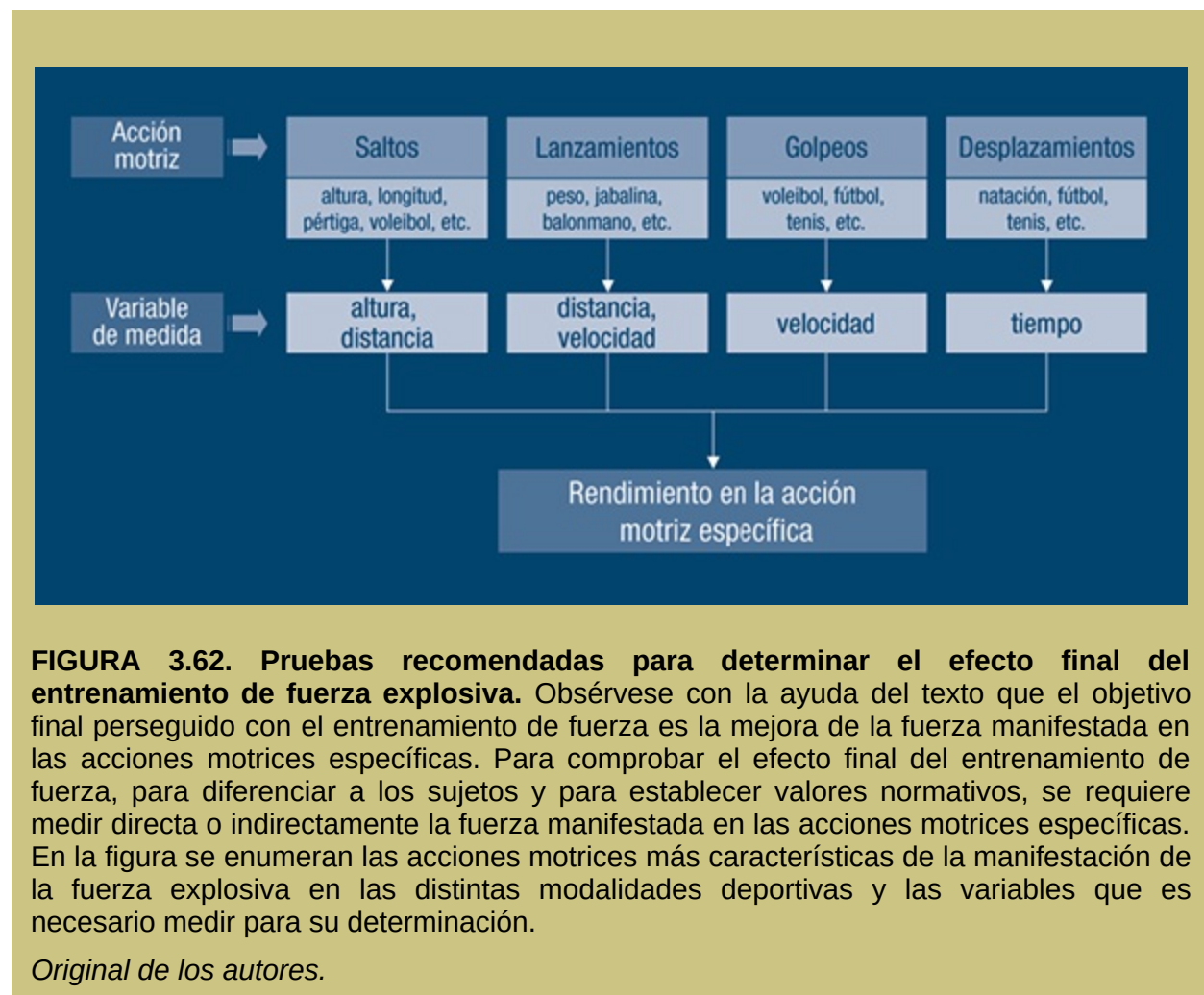
nuestra perspectiva, el **efecto final del entrenamiento de fuerza** debe valorarse sobre la manifestación de fuerza en la **acción motriz de competición**. De esta forma conoceremos si nuestros deportistas tienen unos índices similares a los de otros deportistas del mismo nivel de rendimiento, conoceremos las diferencias existentes entre nuestros deportistas y especialmente determinaremos el efecto real de cualquier programa de entrenamiento sobre las necesidades de fuerza de la competición.

La mejora de 1RM o de la potencia máxima en un ejercicio con sobrecargas es un objetivo parcial del entrenamiento que probablemente con una adecuada transferencia hacia la acción motriz específica de competición permitirá incrementar el rendimiento, pero no debe convertirse en el objetivo final ni en indicadores de la efectividad de un programa de entrenamiento de fuerza. Realmente, de poco sirve que el deportista tenga mayores niveles de fuerza si no es capaz de aprovechar este incremento manifestando mayor fuerza también en la acción motriz específica de competición. Recordemos que en la mayoría de las acciones motrices específicas la relación fuerza/velocidad difiere significativamente de la asociada a una intensidad de 1RM y de la correspondiente a la potencia máxima. Además, hay que considerar que un incremento de los niveles de fuerza manifestados en la acción motriz específica no implica una asociación directa con la mejora del rendimiento. En este sentido, el incremento de fuerza determina un mayor rendimiento siempre que se mantenga una ejecución motriz adecuada como el nivel de precisión en golpes y lanzamientos. Atendiendo a estos criterios, en la figura 3.62 se establecen, para las principales acciones motrices, los **tests recomendados** para determinar el efecto final del entrenamiento de fuerza, que implica simplemente la valoración del rendimiento en la acción motriz específica de competición.

Acción motriz de salto

En los **saltos** hay que determinar la **altura** o la **distancia** en una situación que simule la acción de competición. Para conocer las **causas** de la evolución del rendimiento, como se especifica con detalle en el capítulo 6, en estas modalidades deportivas es necesario un **análisis biomecánico** que nos defina la acción técnica, la velocidad y la fuerza manifestada en las distintas fases de la acción motriz. Por ejemplo, es relevante determinar la velocidad máxima de desplazamiento, la velocidad de despegue, el ángulo del salto, etc.

Actualmente incluso es posible, mediante plataformas de fuerza que se colocan debajo del recubrimiento de la superficie, medir la fuerza manifestada en las fases más relevantes de la acción motriz. Las **plataformas de fuerza** se caracterizan por disponer galgas extensométricas sensibles a las cargas verticales y horizontales, y también a las fuerzas longitudinales y transversales, permitiendo de este modo medir fuerzas en las tres direcciones del espacio, y, por tanto, comparar los patrones de los deportistas a través del estudio de los tiempos de contacto de los apoyos y de la dirección y magnitud de las fuerzas aplicadas (Padullés, 2004). Un claro ejemplo de aplicación de las plataformas de fuerza es la valoración realizada en salto con pértiga en los Campeonatos del Mundo de 2005 de atletismo (Schade *et al.*, 2005). Los autores determinaron la evolución de la fuerza aplicada con la pértiga sobre el cajetín durante toda la acción de salto (véase la figura 6.22).



La determinación de la altura en acciones motrices de salto, como las manifestadas en voleibol, es posible actualmente mediante la utilización de una **plataforma de infrarrojos**. Esta plataforma utiliza rayos infrarrojos modulados invisibles cubriendo la superficie del suelo situada entre el aparato emisor y receptor, lo que permite evaluar el tiempo de contacto y el tiempo de vuelo, y, en consecuencia, la altura sobre la propia superficie de competición. Así, estandarizando un protocolo, es posible determinar la altura de salto simulando las condiciones en que la acción motriz se manifiesta en competición (figura 3.63).

Acción motriz de lanzamiento y golpeo

En los **lanzamientos y golpes** cuyo objetivo sea alcanzar la distancia máxima (p. ej., lanzamiento de peso y jabalina), la medición de la **distancia** es el mejor indicador del efecto final del entrenamiento de fuerza. En los lanzamientos y golpes en los que el objetivo no sea alcanzar la distancia máxima (p. ej., en voleibol, balonmano, tenis, etc.) se requiere para determinar el efecto del entrenamiento de fuerza medir la **velocidad** del implemento. En cualquiera de estas acciones motrices, un **análisis biomecánico** nos permitirá definir con mayor rigor las **causas** de variación del rendimiento.

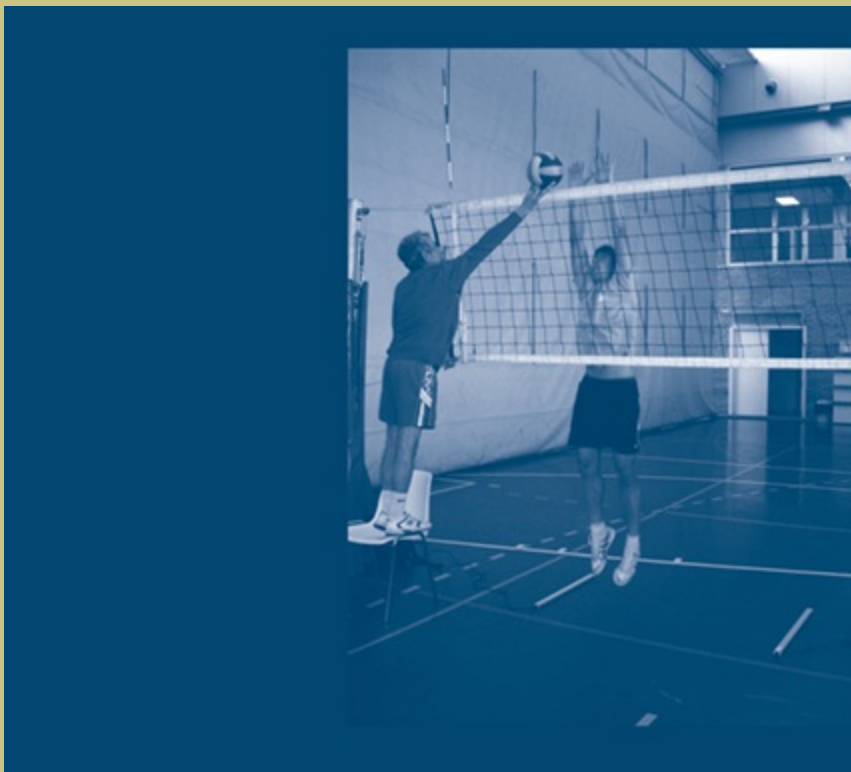


FIGURA 3.63. Determinación de la altura de salto en voleibol mediante una plataforma de infrarrojos. La utilización de una plataforma de infrarrojos, al permitir ejercer la fuerza sobre la misma superficie que en competición y al no interferir en la ejecución técnica, hace factible medir parámetros asociados a la manifestación de fuerza explosiva en acciones motrices específicas. En este ejemplo se valora la altura de salto durante una acción específica de voleibol. En otras acciones motrices, como los desplazamientos, es posible medir el tiempo que necesita el deportista para manifestar la fuerza.

Original de los autores con permiso del deportista.

La valoración de la velocidad del implemento deportivo se ha realizado habitualmente mediante el **análisis fotogramétrico** obtenido mediante programas específicos de análisis del movimiento a partir de la grabación previa con cámara de vídeo. Mediante este análisis se obtiene además numerosa información asociada a la ejecución técnica de la acción motriz. Si nuestro objetivo es únicamente determinar la velocidad de lanzamiento o golpeo, la utilización de un radar nos ofrece una medición válida y fiable en el mismo momento de la valoración. El **radar** es un instrumento que determina la velocidad de un objeto mediante la emisión y recepción de ondas de radio (figura 3.64).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Inicialmente, el radar se utilizó para determinar la velocidad de lanzamiento en béisbol (Lachowetz *et al.*, 1998; Newton y McEvoy, 1994) y la del servicio en tenis (Kraemer *et al.*, 2000; Cohen *et al.*, 1994), utilizándose actualmente también para valorar la velocidad de golpeo en fútbol (Markovic *et al.*, 2006) y voleibol (Forthome *et al.*, 2005), y la velocidad de lanzamiento en balonmano (Cardoso y González Badillo, 2006).

La utilización del radar requiere una estandarización rigurosa y específica de los **protocolos** aplicados a cada deporte tanto por la importancia de conocer la velocidad del implemento en una acción motriz que simule la de competición como porque la fiabilidad de sus mediciones precisa que el implemento se dirija o aleje del radar en trayectoria rectilínea. Este requisito implica ejecutar la acción motriz con un aceptable nivel de precisión. Esto no se puede considerar un inconveniente debido a que no es positivo en estos deportes obtener un incremento de fuerza asociado a una disminución del nivel de precisión.



FIGURA 3.64. Imagen de radar Stalker ATS. El radar es un sencillo instrumento que permite visualizar instantáneamente la velocidad de un implemento, siendo por tanto de gran utilidad para valorar la manifestación de fuerza explosiva en acciones motrices específicas de lanzamientos y golpesos.

Cortesía de www.byomedic.es.

Recientemente, Valadés *et al.*, (2007) han mostrado un protocolo válido y fiable para medir la velocidad de remate en voleibol. El protocolo incluye un test de remate sin salto (figura 3.65) en el que el jugador, situado a 5 m del radar, golpea en dirección al radar sin saltar ni levantar los pies del suelo después de realizar un autolanzamiento. Los autores sugieren registrar la velocidad máxima alcanzada en tres intentos válidos ejecutados con 30 seg de recuperación. Se considera como intento nulo, además de una ejecución incorrecta, cuando el balón no golpea sobre una superficie de 1,5 x 1,5 m marcada sobre la red de una portería. El protocolo incluye también un test de remate con salto (figura 3.65) en el que el jugador, situado a 3-4 m de la red, en el lado opuesto al radar, realiza la carrera de aproximación, el salto y el remate en dirección al radar. La colocación la realiza un sujeto entrenado para lanzar el balón aproximadamente a 1 m de separación de la red, a 5 m de alto como máximo y entre dos varillas situadas sobre la red, con 1,5 m de separación, que delimita la zona de ejecución del remate. La colocación se hace por la derecha o la izquierda en función del lado dominante de los deportistas. Igualmente, se registra el mejor de tres intentos válidos. Los autores recomiendan situar una portería como referencia visual de la dirección del remate. El radar se protege con una jaula metálica o una portería. Antes de la valoración es necesario hacer un calentamiento de 20 min que comprenda carrera continua, estiramientos, movilidad articular, ejercicios con balón (ataque-defensa) y la ejecución de 810 remates.

Para la valoración de la velocidad de lanzamiento en balonmano, también se recomienda realizar un test con y sin carrera previa (Gorostiaga *et al.*, 2006). El lanzamiento se efectúa con la técnica propia de cada jugador sobre una portería estándar. En el trabajo de Gorostiaga *et al.*, (2006) se indica que durante la ejecución del test sin carrera uno de los pies tiene que permanecer en contacto con el suelo detrás de la línea de 7 m (punto de penalti). En el test con carrera se permite a los deportistas hacer una carrera preparatoria limitada a 3 pasos antes de lanzar el balón detrás de la línea situada a 9 m de la portería. Con el fin de simular una verdadera acción de juego de balonmano, los autores recomiendan instruir a los jugadores para dirigir el lanzamiento a la esquina superior derecha de la portería, permitiendo además que se pongan resina en las manos. Se recomienda controlar que los deportistas realicen una técnica de lanzamiento correcta. En el mencionado estudio, para cada test, el deportista realiza intentos hasta que son registrados

3 lanzamientos correctos, hasta un máximo de 3 series de 3 lanzamientos consecutivos. Finalmente, se registra el lanzamiento con mayor velocidad. El descanso entre las series se estableció en 1-2 min, y entre las repeticiones, en 10-15 seg.

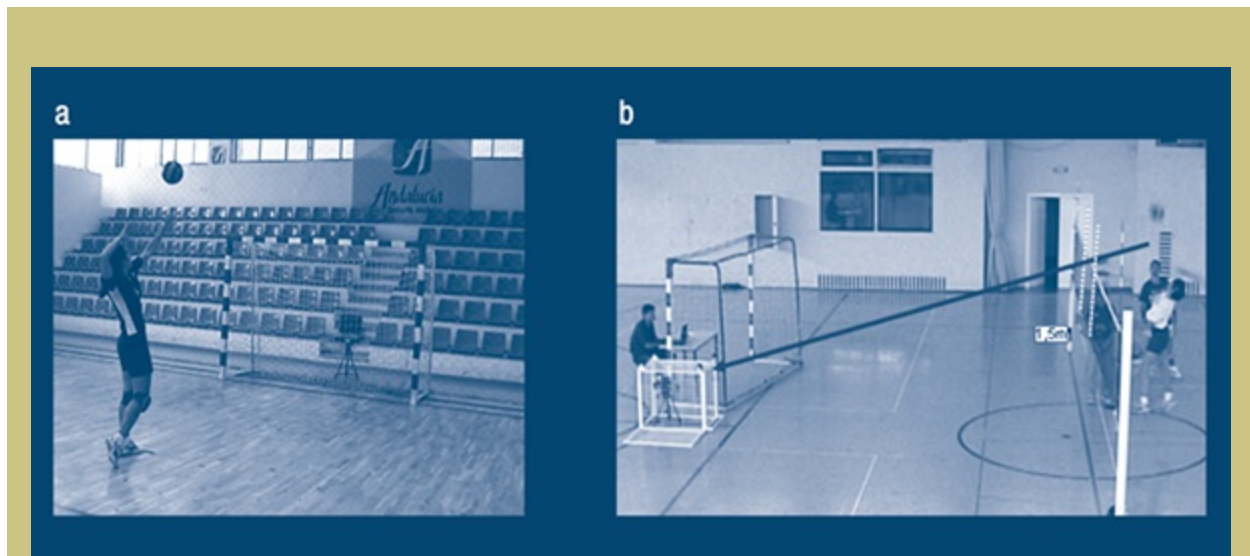


FIGURA 3.65. Valoración con radar de la velocidad de remate en voleibol sin salto (a) o con salto previo (b). La determinación de la velocidad de golpeo o de lanzamiento mediante un radar requiere protocolos específicos para cada modalidad deportiva. En esta figura se muestran algunos de los aspectos metodológicos considerados para la determinación de la velocidad de golpeo en voleibol sin y con la ejecución previa de un salto. Véase el texto para la descripción completa del protocolo y para protocolos utilizados en otras modalidades deportivas. Obsérvase en la figura que es necesario proteger el radar porque el objeto debe dirigirse hacia él para que la medición tenga validez.

Cortesía de David Valadés Cerrato. Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Alcalá.

Aunque tradicionalmente la distancia alcanzada se utiliza en fútbol como indicador indirecto de la velocidad de golpeo, un reciente estudio con jugadores profesionales demuestra que esta medición no es fiable, recomendando los autores su medición con una pistola de radar (Mirkov *et al.*, 2008). Mediante esta pistola, Markovic *et al.*, (2006) han mostrado una elevada fiabilidad para determinar la velocidad en diferentes golpes de fútbol, pudiendo aplicarse el protocolo a otras modalidades como rugby y fútbol americano. Los autores estandarizaron el protocolo situando la pistola de radar detrás de una red a una altura de 0,7 m y a 5 m de la posición del balón. El tamaño de la red se estableció para cubrir todos los golpes que se

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

desviarán menos de 14° de la dirección del radar. Con este margen de desviación, la velocidad registrada podía variar como máximo aproximadamente un 3%. A pesar de esta ligera variación, los autores establecieron este tamaño de la red al considerar que es conocido que un objetivo de menor área podría inducir al deportista a que involuntariamente redujera la velocidad de golpeo para mejorar la precisión. En todos los golpes se instruye a los deportistas para que golpeen en dirección al radar, con la pierna dominante, tan rápido como sea posible con un balón de tamaño e inflado oficiales. Previamente a la ejecución de los tests, se debe realizar un calentamiento estandarizado. Los autores establecen para cada test ejecutar 3 golpes o más, en el caso de intentos fallidos, con 1 min de recuperación, recalando que a pesar de intentos fallidos no se debe disminuir la velocidad de golpeo. Básicamente, en la literatura se recogen tres tipos de tests de golpeo: en posición estática, golpeo con carrera previa y golpeo de volea.

En el golpeo en posición estática, los deportistas deben permanecer de pie con la pierna no dominante colocada al lado del balón inmóvil y, usando una oscilación de contramovimiento preparatoria de la pierna de golpeo, golpear el balón tan rápido como sea posible en dirección al radar situado detrás de la red. En el golpeo con carrera previa se instruye a los deportistas para que golpeen un balón inmóvil tras una carrera de longitud previa determinada por los deportistas. Esencialmente esto corresponde al golpeo de penalti en fútbol. En el golpeo de volea se instruye a los deportistas para que lancen el balón con las manos y con un paso previo golpeen el balón.

Acción motriz de desplazamiento

Para determinar los efectos globales del entrenamiento de fuerza en los **desplazamientos** se requiere calcular el **tiempo** necesario para cubrir una distancia determinada. Para medir el tiempo de un desplazamiento de carrera, lo más habitual es utilizar una serie de barreras de **células fotoeléctricas** que registran los tiempos parciales y/o acumulados. Estas mediciones pueden complementarse con la grabación en vídeo de los ensayos para el posterior análisis de la técnica. Cada barrera de células fotoeléctricas se compone de un emisor y receptor láser conectados por telemetría a un receptor que transmite la información al software (figura 3.66).

Los tests realizados para medir el tiempo necesario para recorrer una determinada distancia dependen de las características de las distintas

modalidades deportivas, siendo los más habituales, especialmente en los deportes de equipo, el test de 30 m en línea recta y la carrera en zigzag de 20 m (figura 3.67).

En el **test de 30 m en línea recta** se establecen indicadores distintos de la capacidad de aceleración al tiempo transcurrido en recorrer los primeros 10 m y los últimos 20 m. Como se representa en la figura 3.67, la distancia se mide a partir de la longitudinal de cada barrera de células fotoeléctricas. Con objeto de no activar la primera barrera de células, la línea de salida se retrasa ligeramente. No hay consenso en la literatura sobre la distancia entre la línea de salida y la longitudinal de la primera barrera de células, 5 cm (Jason Vescovi, comunicación personal), 0,5 m (Gorostiaga *et al.*, 2006; Padullés, 2004). Las células fotoeléctricas deben colocarse sobre un trípode a una altura que varía en función de los estudios, 0,4 m (Gorostiaga *et al.*, 1996), 1 m (Vescovi y McGuigan, 2008). Se recomienda seleccionar el mejor tiempo de 2 ejecuciones. Si la diferencia de tiempo en recorrer 30 m es superior a 0,1 seg, se recomienda ejecutar un tercer intento, seleccionando el mejor de los dos tiempos más próximos (Vescovi y McGuigan, 2008). El tiempo de descanso entre intentos debe situarse entre 90 seg (Gorostiaga *et al.*, 2006) y 2 min (Little y Williams, 2005). Para la ejecución de un test de esprín se requiere un calentamiento previo que incluye carrera continua, aceleraciones y estiramientos (Gorostiaga *et al.*, 2006).



*****ebook converter DEMO Watermarks*****

del emisor y el receptor es correcta. Cuando se corta la emisión de láser, en el caso de los desplazamientos debido al cuerpo del deportista, se inicia automáticamente un sistema electrónico de cronometraje que se para cuando el deportista cruza la emisión de láser de otra barrera de células fotoeléctricas. Así, es posible medir tantos tiempos parciales y con las distancias que se desee registrar como barreras de células fotoeléctricas sean colocadas. Todos los datos son registrados y analizados a través de un sistema de recepción y transmisión de la información a un *software*.

Original de los autores con instrumental del Grupo de Investigación Movimiento Humano.

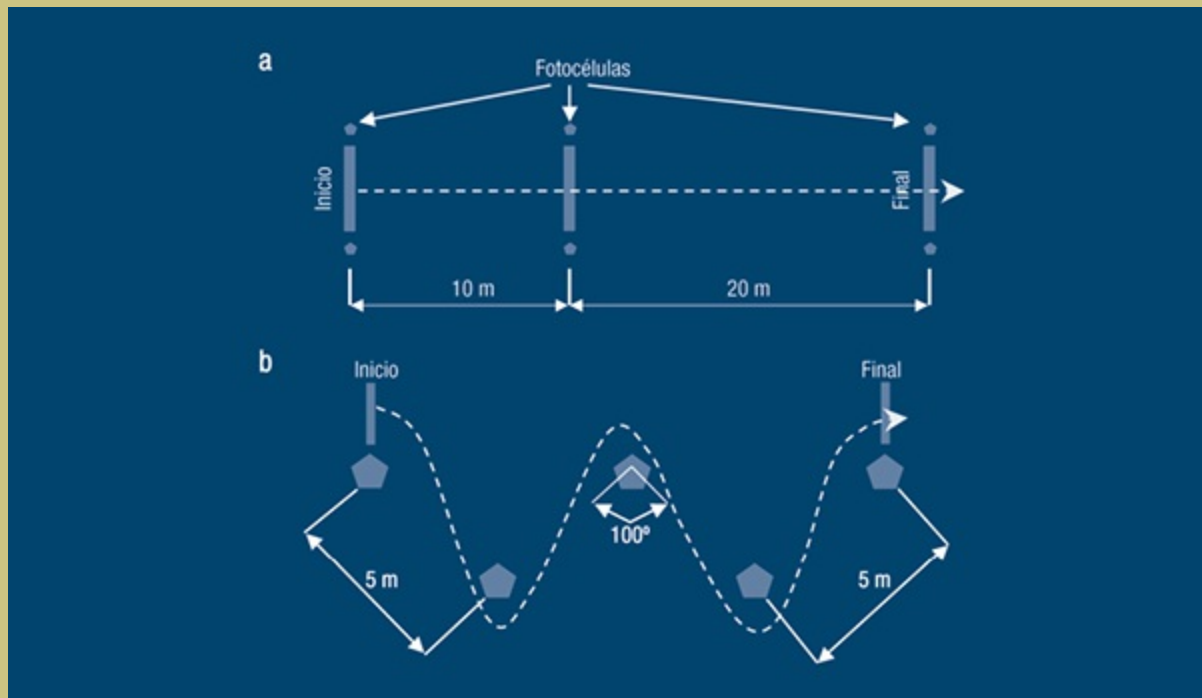


FIGURA 3.67. Pruebas más habituales para medir el tiempo de desplazamiento de carrera: carrera lineal de 30 m (a) y carrera en zigzag de 20 m (b). Se muestran dos de los protocolos más utilizados para determinar la velocidad de desplazamiento. Ambos protocolos son de gran utilidad para establecer características de la manifestación de fuerza explosiva en acciones de desplazamientos de deportes de equipo y de raqueta. Considérese que la carrera lineal, determinando el tiempo a los 10 y 30 m, permite establecer diferentes características de la manifestación de fuerza explosiva durante la aceleración, una primera fase en la que se requiere mayor aplicación de fuerza para superar la ausencia de movimiento y una segunda fase en la que se requiere mayor velocidad de desplazamiento. La carrera en zigzag es más específica de las mencionadas modalidades deportivas, permitiendo medir la habilidad del deportista para acelerar y desacelerar con continuos cambios de dirección. Reflexiónese sobre la adaptación de estos protocolos para medir la velocidad de desplazamiento de otras modalidades deportivas.

Adaptado de Mirkov D et al. J Strength Cond Res 2008;22:1046-50.

El **test de 20 m en zigzag** consiste en recorrer a la máxima velocidad 4 secciones de 5 m delimitadas por conos que están dispuestos en un ángulo de 100° (véase la figura 3.67). La selección de este test está basada en la rápida aceleración, desaceleración y control de equilibrio requerido para una carrera corta con cambios de dirección. En algunos deportes como el fútbol se hace también este test con balón, pudiendo establecerse el índice técnico relacionando el tiempo del test con y sin balón (Mirkov *et al.*, 2008).

La velocidad de desplazamiento de carrera también puede medirse utilizando un **medidor de distancia láser**. Esta tecnología fue aplicada, por ejemplo, en el mencionado estudio de Shade *et al.*, (2005) para determinar en distintos intervalos de distancia la velocidad de aproximación en el salto con pértiga. Mediante esta tecnología se puede disponer de un registro continuo de la velocidad de desplazamiento (véase la figura 6.21).

Para desplazamientos en carrera de mayor duración, únicamente se requiere desplazar la barrera de células fotoeléctricas hasta la distancia de medición deseada y/o incluir tantas barreras como tiempos parciales se deseen obtener. En competiciones oficiales de carreras se utiliza el **sistema videofinish o fotofinish**, que consiste en una imagen continua sincronizada con una escala de tiempo captada mediante una cámara fotográfica o una cámara de vídeo que enfoca la línea de llegada. Actualmente, tiene una precisión de hasta una diezmilésima de segundo. Este sistema es el utilizado en la mayoría de las competiciones oficiales de las modalidades deportivas de desplazamiento. A la cámara de foto final se conecta un sensor mediante cable eléctrico o a través de un emisor y receptor de alta frecuencia para registrar la señal de salida (p. ej., el disparo de la pistola en atletismo) e iniciar automáticamente la medida del tiempo. En el desplazamiento de natación, el tiempo se mide a partir de 1968 mediante **cronometraje electrónico**, que se basa en la colocación de placas en las paredes de la piscina sensibles a los toques de los nadadores y no al oleaje producido por el nado. En cualquiera de estos desplazamientos es posible, mediante la colocación de cámaras de alta resolución, determinar **parámetros biomecánicos** asociados a la velocidad de distintos intervalos de distancia.

6.2. Pruebas para determinar los efectos parciales y reorientar el entrenamiento de fuerza explosiva

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Uno de los principales objetivos de los tests es aportar datos que identifiquen **áreas de deficiencia relativa** que se puedan utilizar para determinar el programa de entrenamiento individual que maximice el rendimiento deportivo (Wilson y Murphy, 1996). Para ello son necesarios tests que permitan determinar los **efectos parciales del entrenamiento de fuerza** y así **reorientar el entrenamiento**. Como hemos indicado, la ejecución de **tests específicos** tiene la ventaja de predecir el rendimiento y especialmente de valorar el efecto final del proceso de entrenamiento (Spencer *et al.*, 2005). Mediante la valoración de la fuerza explosiva con tests específicos, el entrenador puede conocer si el programa de entrenamiento ha sido o no efectivo y qué deportistas tienen una mayor manifestación de fuerza en la acción motriz específica. Sin embargo, con estos tests el entrenador no puede discernir los procesos neuromusculares que han determinado los resultados, y, en consecuencia, los tests específicos tienen **poca validez para reorientar el programa de entrenamiento**.

En deportes que requieren la manifestación de fuerza explosiva, mediante la utilización de una plataforma de fuerza o de un dinamómetro isométrico, Hakkinen *et al.*, (1985) propusieron el diagnóstico de la fuerza por medio del **análisis de la curva fuerza-tiempo en acciones musculares isométricas** determinando la relación entre la fuerza máxima isométrica (FMI) y el máximo índice de manifestación de fuerza (MIMF) (figura 3.68). Así, los deportistas con valores óptimos de FMI, pero con un MIMF relativamente bajo, deberían maximizar el rendimiento mediante entrenamiento con ejercicios específicos. Por el contrario, los deportistas con relativamente buen MIMF acompañado de deficientes niveles de FMI alcanzarán un mayor rendimiento mediante el entrenamiento con sobrecargas. De hecho, Wilson y Murphy (1996) demostraron que, al contrario de lo que sucede con tests isocinéticos, la valoración de la FMI y del MIMF representó un criterio inicial válido para identificar a los deportistas que necesitaron aprovecharse de un entrenamiento determinado (cargas altas o cargas bajas y específicas que reduzcan el CEA). Únicamente los sujetos que tenían un menor nivel de FMI se beneficiaron del entrenamiento con cargas altas. Por el contrario, los que tuvieron valores elevados de FMI, pero relativamente peor MIMF, se beneficiaron del entrenamiento específico; al menos para la realización de un test máximo de 6 seg en cicloergómetro.

Aunque globalmente la determinación de la curva fuerza-tiempo en acciones isométricas puede considerarse de utilidad para reorientar el

entrenamiento de fuerza, el principal debate se ha centrado en las dudas existentes entre la relación de la fuerza isométrica y la fuerza dinámica característica de la mayoría de las acciones deportivas. Los resultados encontrados en la literatura específica son confusos, estableciéndose una relación baja (Murphy y Wilson, 1996) y elevada (Haff *et al.*, 2005, 1997). Al considerar estos estudios, parece que el ángulo seleccionado en la valoración de las pruebas isométricas afecta significativamente la relación con los esfuerzos dinámicos. De esta forma, se observa una relación significativa entre las acciones dinámicas e isométricas del músculo cuando se estandariza el ángulo y la posición del movimiento durante los protocolos dinámicos e isométricos de la valoración de la curva fuerza-tiempo (Haff *et al.*, 2005).

La valoración de los efectos del entrenamiento, especialmente la reorientación del entrenamiento de fuerza, también se ha extendido en el ámbito científico y práctico mediante la utilización de dinamómetros isocinéticos.

La utilidad del **análisis de la fuerza isocinética** se ha considerado relevante en el diagnóstico de lesiones y de descompensación muscular, y para seguir el proceso de readaptación de las lesiones. Sin embargo, desde la perspectiva del rendimiento, la aplicación de tests isocinéticos es muy limitada debido a que la fuerza se ejerce a una velocidad constante durante toda la amplitud del movimiento, y, por tanto, no es específica del movimiento humano caracterizado por aceleraciones y desaceleraciones (Wilson y Murphy, 1996).

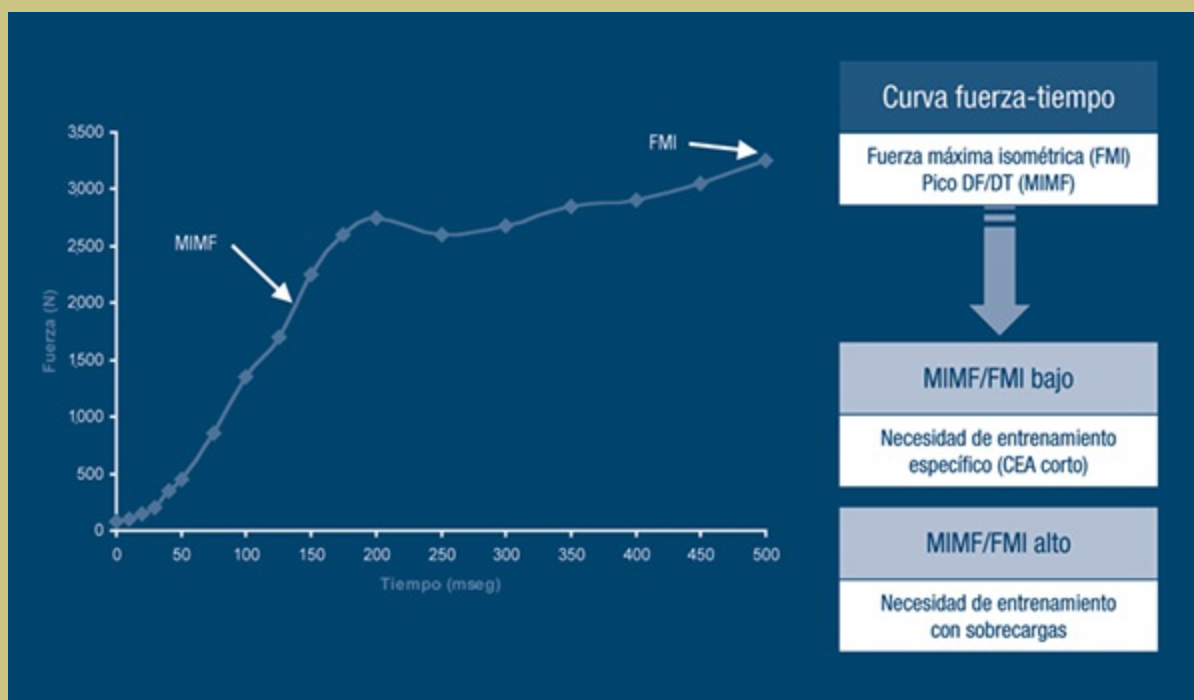


FIGURA 3.68. Criterios de diagnóstico de la fuerza mediante la valoración de la fuerza explosiva en acción isométrica. Obsérvese primero las características ya especificadas de la curva fuerza-tiempo durante la ejecución de una acción isométrica aplicando la máxima fuerza posible y las dos principales variables que permiten reorientar el entrenamiento: la fuerza máxima isométrica manifestada (FMI) y el máximo índice de manifestación de fuerza (MIMF), que refleja la mayor pendiente de la curva inherente a la relación más elevada entre la fuerza manifestada y el tiempo requerido para manifestarla. Considérese con la ayuda del texto la interpretación adoptada para definir las necesidades de entrenamiento en función de la relación entre ambas variables.

Original de los autores a partir de la figura de Haff GG et al. J Strength Cond Res 2005;19:741-8.

Actualmente, se acepta generalmente que la **determinación de variables en acciones musculares dinámicas** tiene mayor aplicación en el ámbito del rendimiento deportivo para reorientar el entrenamiento de fuerza que las evaluaciones isométricas e isocinéticas (Stølen *et al.*, 2005). En este apartado se consideran los principales tests que permiten reorientar el entrenamiento de fuerza mediante la determinación de distintos parámetros en acciones dinámicas.

Reorientación del entrenamiento mediante parámetros

obtenidos en ejercicios con sobrecargas

Determinación directa e indirecta de 1RM

La **determinación de 1RM** no es una medida de fuerza, pero nos permite establecer la carga máxima que un deportista puede superar en un determinado ejercicio. Conocer el valor de 1RM es, además de uno de los métodos que nos permite identificar el peso que debe superar un deportista para trabajar distintos objetivos de entrenamiento, un requisito necesario para establecer el peso correspondiente a distintas intensidades relativas en la valoración de la curva fuerza-velocidad y la curva de potencia. A este respecto, conocer el valor de 1RM únicamente es relevante en los **ejercicios multiarticulares** de mayor utilización en el entrenamiento con sobrecargas: arrancada, cargada, prensa de pecho, sentadilla, media sentadilla, etc.

Lógicamente, para obtener datos fiables es requisito indispensable que la **ejecución técnica** del ejercicio sea la correcta y equiparable entre mediciones realizadas en distintos momentos. Por ejemplo, pequeñas variaciones de la amplitud del movimiento en los ejercicios de prensa de pecho, de sentadilla y de media sentadilla determinan valores de 1RM diferenciados. En este sentido, es recomendable estandarizar la amplitud del movimiento; por ejemplo, en prensa de pecho se debe comenzar la acción concéntrica cuando la barra esté situada 1 cm por encima del pecho del sujeto, y en media sentadilla se estandarizará si se requiere del deportista una flexión hasta que los muslos estén situados en posición paralela al suelo o únicamente hasta que el ángulo del muslo y la pierna sea de 90°. Para la ejecución técnica correcta de los distintos ejercicios, el lector puede consultar los diferentes manuales específicos. Otro aspecto relevante de estandarización son las condiciones en las que se realiza la fase excéntrica y concéntrica del movimiento. Respecto a la fase concéntrica, el movimiento debe realizarse a la máxima velocidad posible. En relación con la fase excéntrica, aparte de la amplitud del movimiento, en la literatura científica se utilizan diferentes métodos en función del objetivo perseguido: realizar únicamente la fase concéntrica del movimiento, realizar la fase excéntrica de forma controlada e iniciar la fase concéntrica después de 1-2 seg, realizar la fase excéntrica de forma controlada e iniciar la fase concéntrica inmediatamente, y realizar la fase excéntrica al menos al final del movimiento a una elevada velocidad para aprovechar la reutilización de la energía elástica. En este sentido, se

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

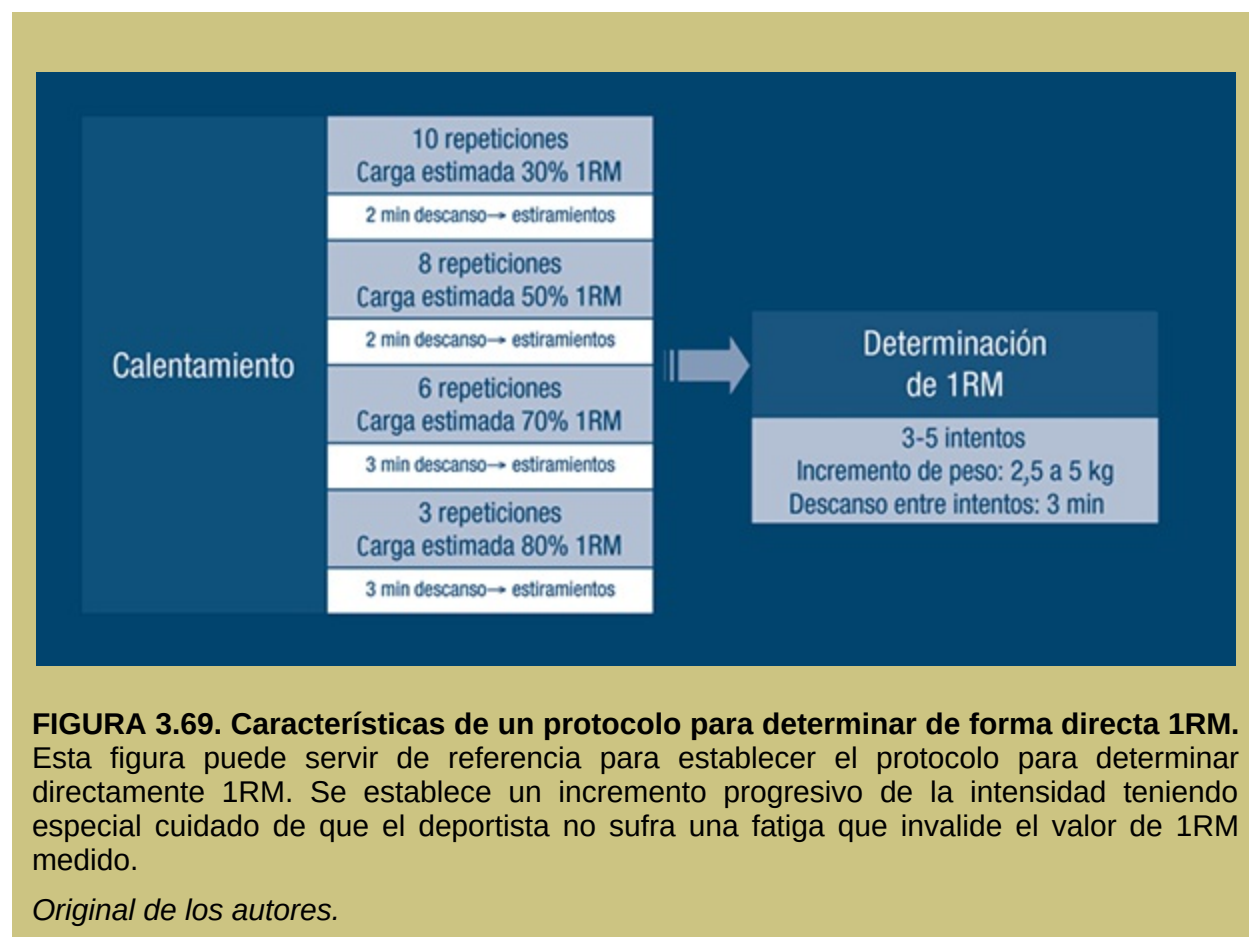
recomienda la ejecución controlada de la fase excéntrica seguida inmediatamente por la ejecución a la máxima velocidad de la fase concéntrica debido a que es la técnica habitual utilizada en los programas de entrenamiento. Otro aspecto diferenciador es la realización del test en algunos ejercicios como sentadilla y prensa de pecho con peso libre o con máquina. Si nuestro objetivo es únicamente conocer el valor de 1RM con el fin de identificar la carga para el entrenamiento, se recomienda la utilización de pesos libres. Pero si nuestro objetivo es determinar posteriormente mediante un encoder lineal los valores de fuerza y potencia a distintas intensidades relativas del valor de 1RM, la ejecución de los ejercicios en una máquina Smith nos proporciona mayor fiabilidad, pues no existen oscilaciones de la barra en los distintos planos del movimiento.

Como en cualquier valoración, en la determinación de 1RM el deportista tiene que estar recuperado de los estímulos de entrenamiento precedentes; habitualmente se recomienda que transcurra un período de ~ 48 h sin realizar un esfuerzo de elevada fatiga. Otro criterio de estandarización en la determinación de 1RM es el **protocolo** utilizado, que comprende el proceso de calentamiento, el nivel de incremento del peso, el descanso entre intentos y el número de intentos. Es necesario un adecuado calentamiento para evitar lesiones y obtener una medida fiable.

En la literatura científica, el calentamiento se describe por ejemplo, como la ejecución de 1 serie de 5 a 10 repeticiones a una intensidad del 40-60% del valor de 1RM previsto (Hoffman *et al.*, 2007; Sáez de Villarreal *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2006a). Después de este calentamiento, el deportista realiza de 3 a 6 intentos para determinar el valor de 1RM, con un descanso entre intentos de 2 min (Sáez de Villarreal *et al.*, 2007; Izquierdo *et al.*, 2006a) o de 3-5 min (Hoffman *et al.*, 2007). Si se observa que el deportista está próximo a levantar su carga máxima, el incremento de peso no debe ser superior a 2 kg (Matuzak *et al.*, 2003).

Probablemente, el protocolo de calentamiento descrito en estos artículos resume el calentamiento real ejecutado. En la figura 3.69 se establece un protocolo para la determinación de 1RM basado, durante el calentamiento, en la ejecución sucesiva de series con elevación gradual de la carga ejecutando un número de repeticiones muy inferior a las máximas posibles y permitiendo un descanso completo. El final del calentamiento con cargas ya relativamente elevadas nos permite determinar una carga conservadora con la cual intentar la determinación de 1RM.

La experiencia del deportista y el entrenador, así como el disponer de los valores de 1RM previos del deportista, determinan el mayor o menor número de intentos para establecer el valor real de 1RM. Aunque algunos autores han establecido que en deportistas experimentados 1 min de recuperación es suficiente entre 2 repeticiones con una carga máxima o submáxima en los ejercicios de sentadilla y prensa de pecho (Matuszak *et al.*, 2003; Weir *et al.*, 1994), una recuperación de 2-3 min puede ser la más adecuada para la mayoría de los deportistas. Es recomendable la ejecución de 2 intentos con el peso que el deportista no ha podido superar en el primer intento. Lógicamente, en el caso de haber sobreestimado las posibilidades del deportista seleccionando una carga superior a la máxima que puede desplazar, hay que reducir ligeramente el peso en búsqueda de su valor de 1RM.



Aunque habitualmente en los artículos científicos se determina el valor de 1RM de forma directa, a efectos prácticos del entrenamiento de la mayoría de

las modalidades deportivas probablemente es de mayor utilidad la **determinación indirecta de 1RM**. Hay que considerar que 1RM es una carga excesiva para la mayoría de los deportistas, que están habituados a trabajar con una intensidad de carga relativamente inferior. En este caso, la determinación directa de 1RM conlleva un riesgo innecesario y probablemente, además, un margen de error superior a la determinación indirecta debido a deficiencias de la ejecución técnica.

Numerosos investigadores han determinado **ecuaciones de predicción** de 1RM basándose en la relación previamente explicada entre el máximo número de repeticiones que es posible ejecutar para las distintas intensidades relativas de carga (tabla 3.22). De esta forma, es posible determinar 1RM a partir del peso levantado con una intensidad submáxima.

Los principales aspectos que hay que considerar en las ecuaciones presentadas son su relación lineal o no lineal, el ejercicio utilizado y la población en estudio. Actualmente se sabe que la relación entre el %1RM y el número de repeticiones puede considerarse lineal hasta 8-12RM. A una intensidad relativa más baja se incrementa en mayor medida el número máximo de repeticiones posibles en relación con la disminución de la intensidad relativa de carga. Además, con una intensidad relativamente baja difiere también significativamente el número máximo número de repeticiones entre deportistas con distinto nivel de experiencia. Por ejemplo, Brown *et al.*, (1990) mostraron que sujetos con experiencia en el entrenamiento de fuerza, además de utilizar lógicamente un mayor peso al 70% 1RM, realizaron un número mayor de repeticiones hasta el fallo muscular en comparación con sujetos no entrenados (22 frente a 14 repeticiones, respectivamente). Reynolds *et al.*, (2006), en cambio, no encontraron diferencias en la ecuación de regresión en función de variables antropométricas, sexo o entrenamiento previo realizado; sin embargo, son relevantes las diferencias observadas en función del tipo de ejercicio, especialmente a una intensidad relativamente baja (figura 3.70).

TABLA 3.22. Ecuaciones lineales y no lineales para predecir 1RM.

Autores	Población estudiada	Ecuaciones de predicción
<i>Ecuaciones lineales</i>		
Reynolds <i>et al.</i> , 2006	Grupo heterogéneo (n = 70)	1RM LP* = (1,09703 x [5RM, kg] + 14,2546
		1RM CP** = (1,1307 x [5RM, kg] + 0,6998
Abadie y Wentworth, 2000	Mujeres universitarias (n = 30)	1RM = 7,24 + (1,05 x peso levantado)
Brzycki, 1993	Desconocida	1RM = (peso levantado)/(1,0278 - [0,0278 x rep.])
O'Conner, 1989	Desconocida	1RM = (1 + 0,025 x rep.) x peso levantado
Epley, 1985	Desconocida	1RM = (1 + 0,0333 x rep.) x peso levantado
Landers, 1985	Desconocida	1RM = (100 x peso levantado)/(101,3 - [2,67123 x rep.])
<i>Ecuaciones no lineales</i>		
Wathen, 1994	Desconocida	1RM = (100 x peso levantado)/(48,8 + 53,8e ^{-0,075 x rep.})
Mayhew <i>et al.</i> , 1992	185 hombres y 251 mujeres universitarios	1RM = (100 x peso levantado)/(52,2 + 41,9e ^{-0,055 x rep.})
Lombardi, 1989	Desconocida	1RM = rep. ^{0,1} x peso levantado

* LP: prensa de pierna. *CP: prensa de pecho. Directrices de los autores respecto al número óptimo de repeticiones aplicables para la ecuación: Brzycki y Epley = <10 rep.; Lombardi = <11 rep.; Mayhew *et al.*, = <15 rep.; Reynolds *et al.*, = 5 rep.; Lander, O'Conner y Wathen = sin especificar.

Adaptado de Jimenez A y De Paz JA. JHSE 2008;3(1):10-22, y de Reynolds JM *et al.* J Strength Cond Res 2006;20:584-92.

En el análisis realizado por Reynolds *et al.*, (2006), los autores establecen que las ecuaciones más precisas para predecir 1RM para el ejercicio de prensa de pierna es la presentada por los propios autores y la de Abadie y Wentworth (2000), mientras que para el ejercicio de prensa de pecho las más precisas son la de los propios autores y las de O'Connor (1989) y Brzycki (1993). Nuestra experiencia nos permite indicar que la aplicación de la ecuación de Brzycki es adecuada para predecir los valores de 1RM en sentadilla y prensa de pecho. El mayor nivel de precisión de 1RM se obtiene con la ejecución de pocas repeticiones. A este respecto, la ejecución de 3 a 5RM puede ser el método más adecuado. Una ejecución de más de 5RM tiene un elevado margen de error y está muy influida por la capacidad de los deportistas para manifestar fuerza resistencia con cargas elevadas. En la figura 3.71 se establece el **protocolo** para determinar indirectamente el valor de 1RM.

Aunque es habitual expresar el valor de 1RM en **términos absolutos**, en la comparación entre deportistas hay que considerar también su expresión en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

términos relativos, en relación con el peso corporal, especialmente en aquellas modalidades deportivas en las que la resistencia a superar es el propio peso corporal. Aunque la influencia del peso corporal sobre los valores de fuerza y potencia se ha estudiado durante décadas, la normalización de los valores en función de este parámetro se ha obviado, pudiendo concluir que la mayoría de los resultados presentados en la literatura científica y profesional son confusos debido al efecto de la masa corporal (Nedeljkovic *et al.*, 2009). El tamaño del cuerpo es un factor conocido por ejercer una influencia sustancial sobre la fuerza del músculo. Sin embargo, los criterios de normalización en función del peso corporal continúan debatiéndose. En la interpretación de los resultados de la figura 3.72a se podría concluir que el valor de 1RM del jugador evaluado es acorde con el promedio obtenido por su equipo. Sin embargo, si consideramos las diferencias de peso corporal, el jugador seleccionado tiene probablemente un mejor perfil neuromuscular con cargas altas que el resto de sus compañeros (figura 3.72b). De forma equivalente a lo establecido para algunas variables de resistencia como el VO_2 máx., la división de los valores absolutos por la masa corporal no parece el método más apropiado para establecer los valores relativos. Para los valores de fuerza, Folland *et al.*, (2008) han establecido que en sujetos con menos de un 20% de grasa corporal los valores de fuerza han de relacionarse con los valores de masa corporal utilizando el exponente de 0,66, aunque, si es posible, los autores recomiendan relacionar los valores de fuerza para la masa libre de grasa utilizando el exponente de 0,76. De modo similar, Nedeljkovic *et al.*, (2009) proponen, durante la evaluación de numerosos tests, que el exponente teórico de 0,67 puede ser adecuado para los valores de potencia. Sin embargo, en ambos estudios los sujetos evaluados fueron moderadamente entrenados, por lo que son necesarios futuros estudios que determinen los exponentes adecuados para deportistas de elite de distintas modalidades deportivas.

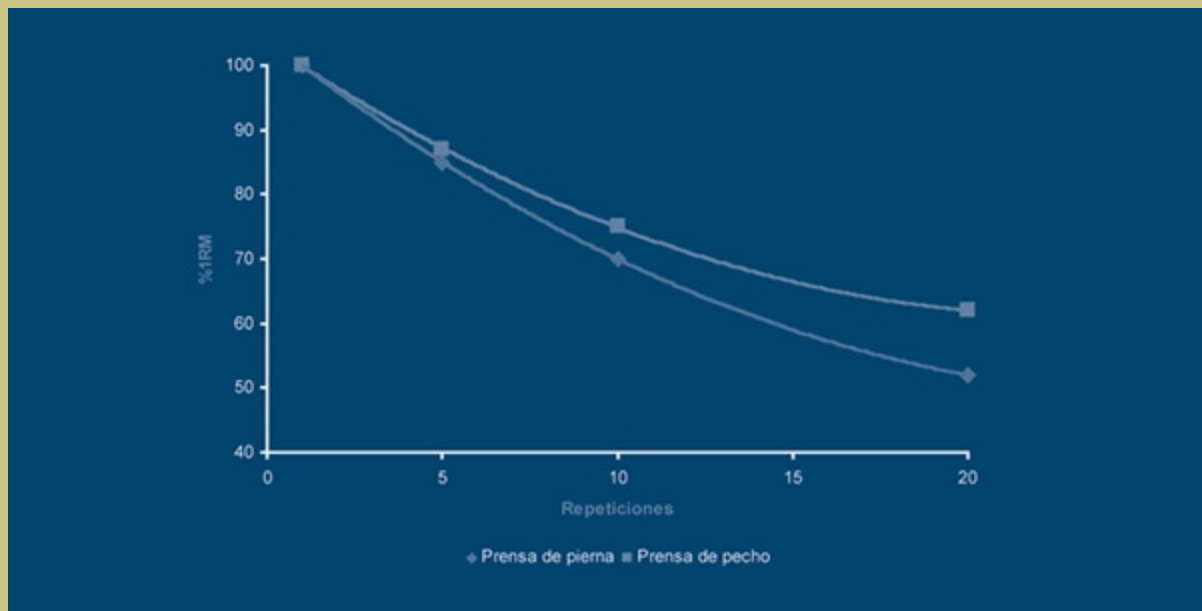


FIGURA 3.70. Diferencias de la relación entre el %1RM y el número de repeticiones en los ejercicios prensa de piernas y prensa de pecho. La relación establecida por el autor entre el %1RM y el máximo número de repeticiones no es lineal, incrementándose el número de repeticiones posibles en mayor medida que la disminución del %1RM, especialmente para el intervalo de intensidad más bajo. Obsérvese que existen diferencias en esta relación en función del ejercicio ejecutado. Sin embargo, para las intensidades relativas más elevadas, las diferencias entre estos 2 ejercicios son insignificantes y la relación es prácticamente lineal. Con estos datos y con la ayuda del texto, cabe apreciar que el margen de error en la determinación indirecta de 1RM y en el control de la intensidad con cargas elevadas va a ser mínimo, independientemente del ejercicio o de la utilización de una ecuación lineal o no lineal.

Adaptado de Reynolds JM et al. J Strength Cond Res 2006;20:584-92.

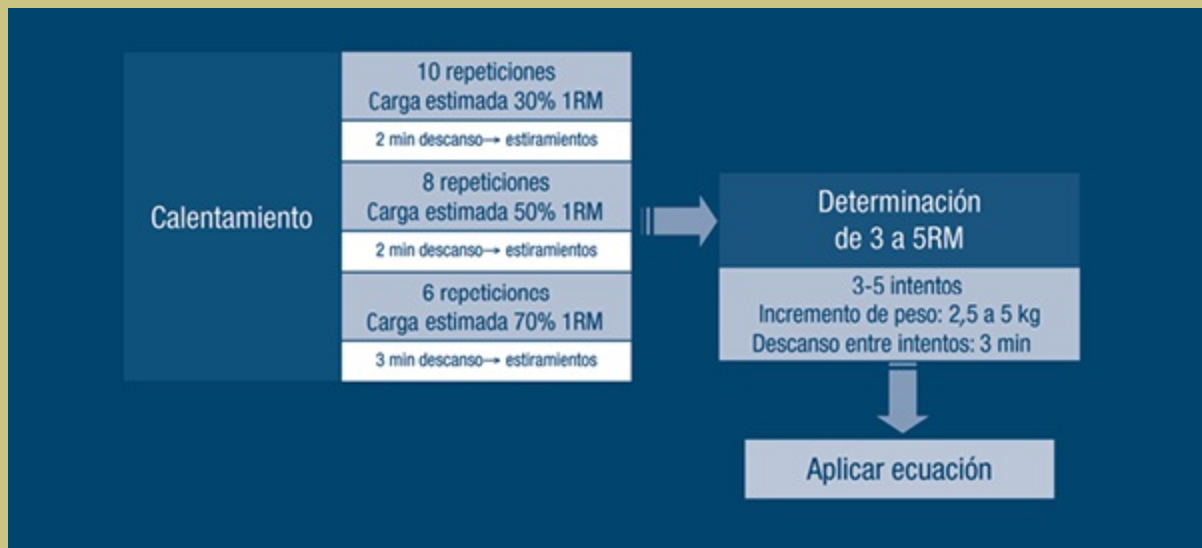


FIGURA 3.71. Características de un protocolo para determinar de forma indirecta 1RM. El protocolo establecido para la determinación indirecta de 1RM sigue los mismos criterios que los establecidos para su determinación directa. La única diferencia es que la máxima intensidad utilizada durante el calentamiento es menor como consecuencia de que se requiere una intensidad menos elevada para determinar indirectamente 1RM.

Original de los autores.

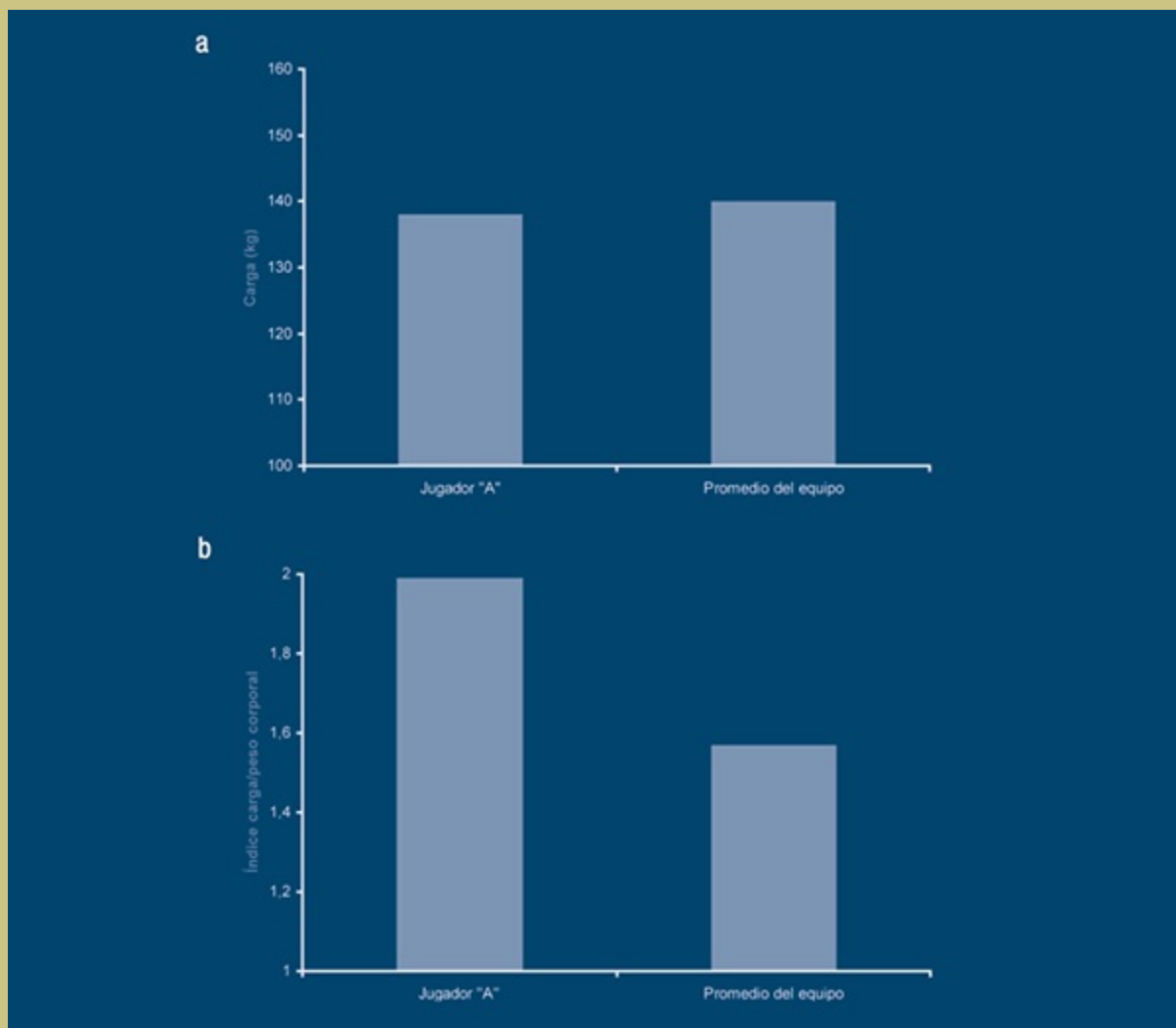


FIGURA 3.72. Ejemplo de la diferencia de interpretación de 1RM en valor absoluto (a) y valor relativo al peso corporal (b). Es habitual establecer en valores absolutos las principales variables asociadas a la manifestación de fuerza. La expresión en valores absolutos tiene poca influencia en la comparación de un mismo deportista, pero puede llevar a interpretaciones erróneas en la comparación entre sujetos que difieren significativamente en su masa corporal. Como ejemplo, obsérvese en la figura que no existen diferencias importantes en el valor de 1RM en sentadilla paralela entre un jugador de voleibol y el promedio del resto del equipo. Si consideramos la elevada diferencia de masa corporal, debemos interpretar que el valor relativo de 1RM es muy superior en el jugador analizado que en el resto de su equipo. Este análisis es relevante en deportes como voleibol en los que se requiere superar el propio peso corporal, mientras que en otras modalidades deportivas como deportes de lucha, remo, etc., puede ser más importante la interpretación de los valores en términos absolutos.

Original de los autores con datos del Grupo de Investigación Movimiento Humano.

Determinación de la curva fuerza-velocidad y curva potencia-velocidad

Si queremos conocer la fuerza y la potencia manifestadas ante un determinado nivel de carga, es necesario medir la velocidad con la que desplazamos ésta. Dado que la velocidad y la aceleración son parámetros derivados del tiempo y del espacio [$v = De/Dt = (e_2 - e_1)/(t_2 - t_1)$; $a = Dv/Dt = (v_2 - v_1)/(t_2 - t_1)$], si medimos la dinámica espaciotemporal al desplazar una carga, podremos determinar la velocidad y la aceleración, y por consiguiente la fuerza [$F = (m \times a) + (m \times g)$] y la potencia ($P = F \times V$).

La ingeniería aplicada al deporte desarrolló un dispositivo capaz de medir el desplazamiento en el tiempo (**encoder lineal o velocímetro**). Este aparato dispone de una anilla para colocar en la barra, de tal forma que el sensor de rayos infrarrojos que nos mide el desplazamiento vertical de la carga y el tiempo transcurrido se mueve a la vez que realizamos el movimiento. El sensor está interconectado a un dispositivo electrónico, transmitiendo una señal cada 0,1 cm de desplazamiento. Como el movimiento humano se caracteriza por cambios de la velocidad y la aceleración, y por consiguiente cambios de la manifestación de fuerza y potencia en el tiempo (véanse las figuras 3.4 y 3.5), podemos medir distintos niveles de fuerza y de potencia durante la ejecución de un movimiento. En la figura 3.73 se muestran los parámetros principales que se obtienen en cada una de las repeticiones. Con el fin de reorientar el entrenamiento de fuerza, los parámetros más relevantes son el pico de fuerza, la potencia media y la velocidad media. Determinando estos valores en una repetición con distintos niveles de carga, obtenemos la **curva fuerza-velocidad** y la **curva potencia-velocidad** (figura 3.74). Como para cada nivel de carga la fuerza y la potencia manifestadas son dependientes de la velocidad de ejecución, es tradicional representar los datos como **curva fuerza-carga** y **curva potencia-carga**.

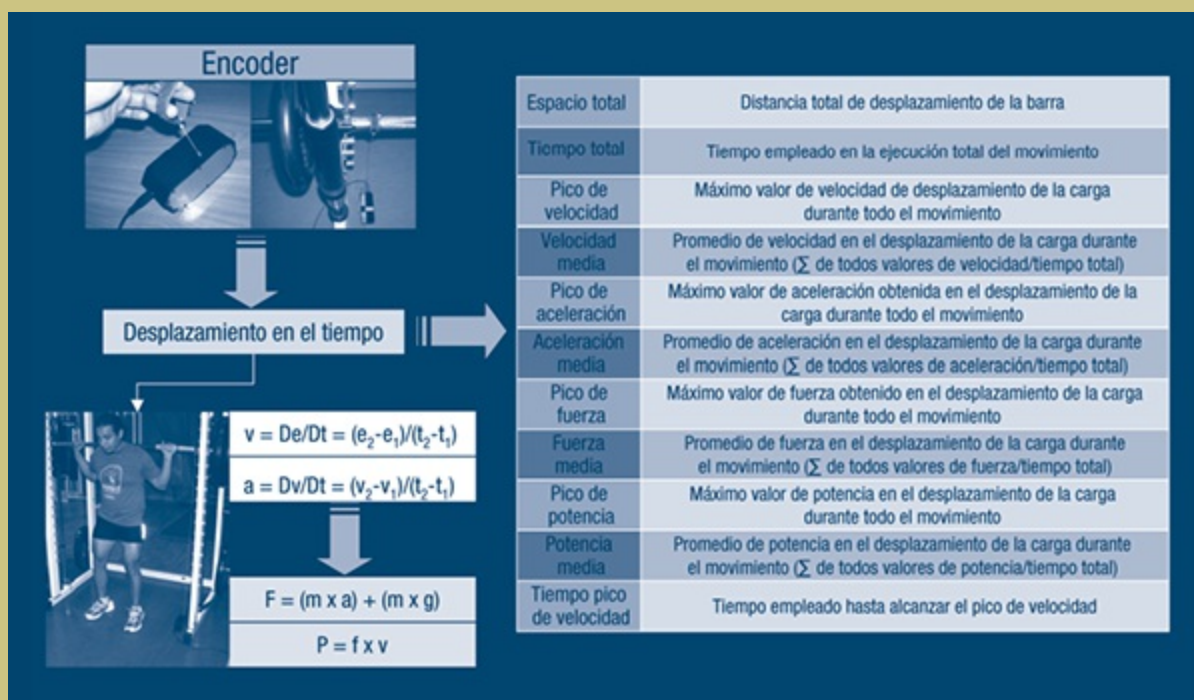


FIGURA 3.73. Parámetros más relevantes obtenidos en una repetición de un ejercicio con sobrecargas mediante un encoder lineal. En esta figura se muestra que el encoder, a partir de la determinación del desplazamiento de la barra en el tiempo, permite establecer la velocidad y la aceleración, y con ello la fuerza y la potencia. La velocidad de desplazamiento no es la misma en toda la amplitud del movimiento; todos estos parámetros tienen un valor diferente en cada instante de tiempo. A la derecha se puede observar la selección y definición de los parámetros más interesantes a registrar en cada repetición. Para reorientar el entrenamiento, las variables más utilizadas son los promedios de la manifestación de fuerza, velocidad y potencia.

Original de los autores con permiso del deportista.

Al igual que en la determinación de 1RM, es necesario estandarizar la **ejecución técnica** del ejercicio. Así, como se ha especificado antes, los valores de potencia, fuerza y velocidad difieren significativamente en función de las características de la fase excéntrica y la fase concéntrica. En este sentido, para simular lo habitualmente realizado en el entrenamiento, nuevamente recomendamos la ejecución controlada de la fase excéntrica y la ejecución de la fase concéntrica a la máxima velocidad posible. Sin embargo, en función de los objetivos se puede hacer el test incidiendo exclusivamente en la fase concéntrica o realizando también la fase excéntrica a la máxima velocidad. La fase concéntrica, cuando se ejecuta previamente la fase excéntrica, se determina cuando la velocidad de la barra cambia de positivo a

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

negativo. Cuando se ejecuta exclusivamente la fase concéntrica, el comienzo se determina en el punto en que la fuerza vertical se incrementa (Cronin *et al.*, 2003). Es interesante la determinación de la curva fuerza-velocidad y la curva de potencia durante la ejecución balística del ejercicio, requiriendo disponer para la valoración del ejercicio prensa de pecho de una máquina Smith modificada. También es posible medir estos parámetros con el encoder durante la ejecución balística de saltos con sobrecargas sobre una máquina Smith. Sin embargo, la valoración de este ejercicio es más habitual con la utilización de peso libre sobre una plataforma de contacto.

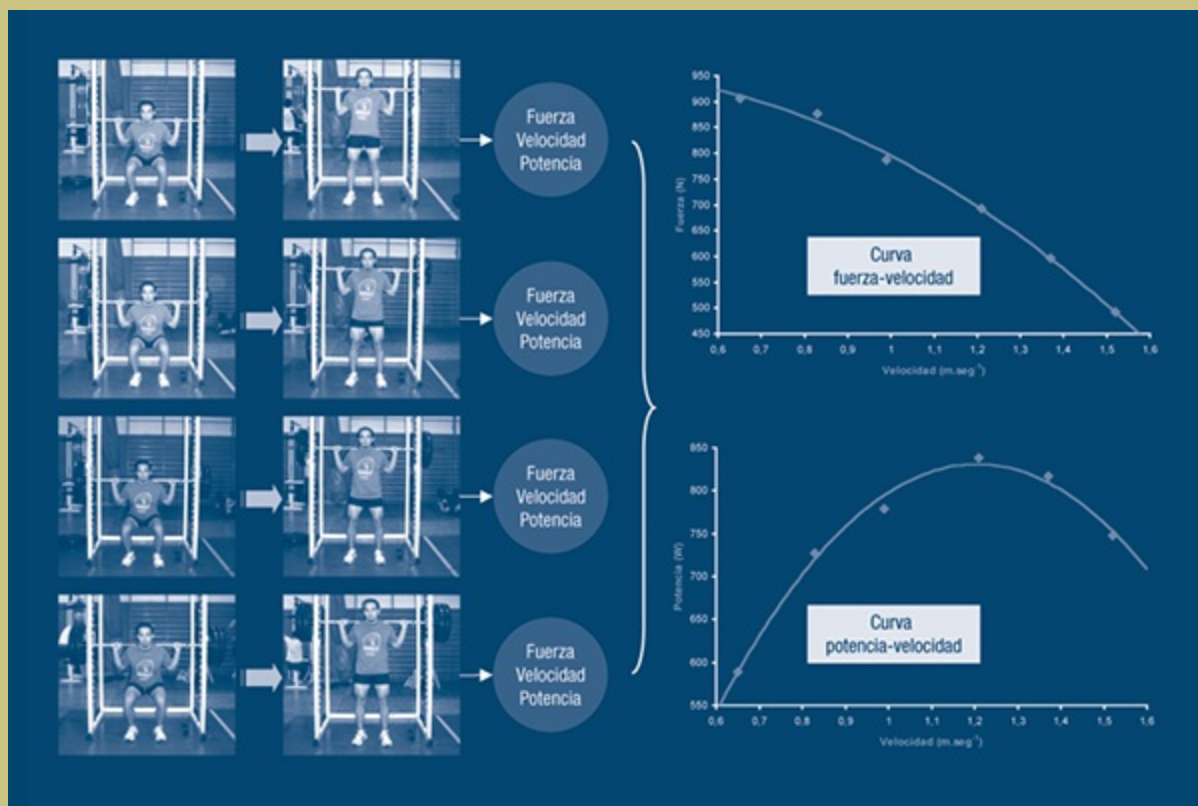


FIGURA 3.74. Protocolo e índices de evaluación de la valoración con encoder de un test progresivo de intensidad en un ejercicio con sobrecargas. Para reorientar el entrenamiento de fuerza es interesante la determinación de la curva fuerza-velocidad y su correspondiente curva potencia-velocidad (derecha). Para ello, cabe observar a la izquierda que es necesario medir mediante un encoder la fuerza, velocidad y potencia desarrolladas durante la ejecución de una repetición con distintos niveles de carga. Habitualmente, las diferentes intensidades se establecen en relación con el %1RM, pero también se puede establecer una comparación en diferentes momentos de los valores de estos parámetros con determinados pesos en valor absoluto (p. ej., 20, 40, 60, 80 kg). Véase el texto para una definición completa del protocolo.

Para establecer la **intensidad de carga** se requiere conocer previamente el valor de 1RM. Para disponer de datos suficientes para establecer las correspondientes curvas se requiere la medición de al menos 4 intensidades relativas (p. ej., 30%, 50%, 70% y 90% 1RM). Para conocer con mayor exactitud la carga con la que se manifiesta la máxima potencia, se recomienda la ejecución de 6 intensidades (p. ej., 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% 1RM) (Cronin *et al.*, 2003). Si nuestro objetivo es establecer simultáneamente el déficit de fuerza respecto a la máxima fuerza manifestada, se requiere además la determinación de la fuerza con la carga correspondiente a 1RM (p. ej., 30%, 45%, 60%, 70%, 80% y 100% 1RM) (Izquierdo *et al.*, 2002). Para una mayor fiabilidad, se recomienda hacer 2 intentos para cada intensidad relativa de carga. Es suficiente 1 min de descanso entre dos intentos y 2 min entre dos intensidades de carga.

Debido a que durante la ejecución de los ejercicios con peso libre se producen oscilaciones de movimiento en los distintos planos, sólo ha sido posible, hasta hace poco tiempo, obtener una elevada fiabilidad con el encoder lineal realizando la **valoración de los ejercicios en una máquina** que fija el plano de movimiento. La determinación de la potencia desarrollada con pesos libres solo había sido posible mediante análisis de vídeo, un sistema poco útil para la práctica diaria del entrenamiento. Así, mientras que el análisis de potencia, fuerza y velocidad se medía en máquina, los resultados debían ser extrapolados con bastante imprecisión al entrenamiento habitual con pesos libres. Sin embargo, recientemente se ha mostrado cómo un encoder óptico (Gymaware optical encoder, Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia) aporta medidas válidas en la **valoración con pesos libres** (Drinkwater *et al.*, 2007), lo que resulta un hallazgo interesante debido a que estos ejercicios son los recomendados en el entrenamiento con sobrecargas.

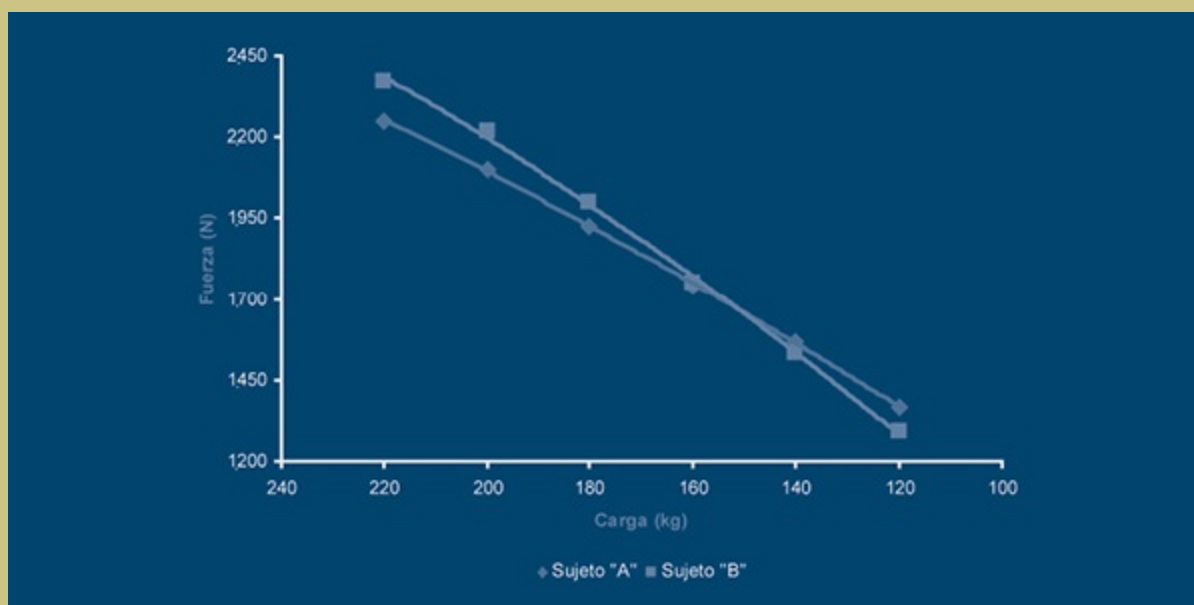


FIGURA 3.75. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza mediante la comparación en 2 deportistas de la misma disciplina de la curva fuerza-carga en prensa de pecho. Para una misma carga en valores absolutos, el sujeto "A" manifiesta respecto al sujeto "B" menos fuerza cuando la carga es relativamente elevada y mayor fuerza cuando la carga es relativamente baja. Con estos datos, en un ciclo de entrenamiento de fuerza, el sujeto "A" podrá obtener mayores beneficios priorizando la ejecución de ejercicios con sobrecargas a intensidades muy elevadas, mientras que el sujeto "B" necesita disminuir su mayor déficit de fuerza con cargas bajas mediante la ejecución prioritaria de ejercicios con sobrecargas a una intensidad relativa menor. De esta forma, el sujeto "A" puede mejorar su relativo peor potencial de fuerza, lo que le puede permitir posteriormente con una adecuada transferencia manifestar mayor fuerza en el gesto específico de competición. En cambio, el sujeto "B", que ya dispone de un potencial de fuerza relativamente más elevado, con la ejecución de cargas más bajas que se aproximen progresivamente a la carga de competición podrá incrementar la fuerza manifestada en la acción motriz específica.

Original de los autores con datos del Grupo de Investigación Movimiento Humano.

La determinación de las curvas fuerza-carga y potencia-carga nos permite, mediante la comparación de los valores de un deportista en distintos momentos o de varios deportistas de la misma disciplina, **reorientar el programa de entrenamiento de fuerza** (figura 3.75), situar a nuestro deportista en función de los valores de referencia de una modalidad deportiva y determinar la intensidad de carga con que cada deportista en cada ejercicio manifiesta la **potencia máxima** (figura 3.76).

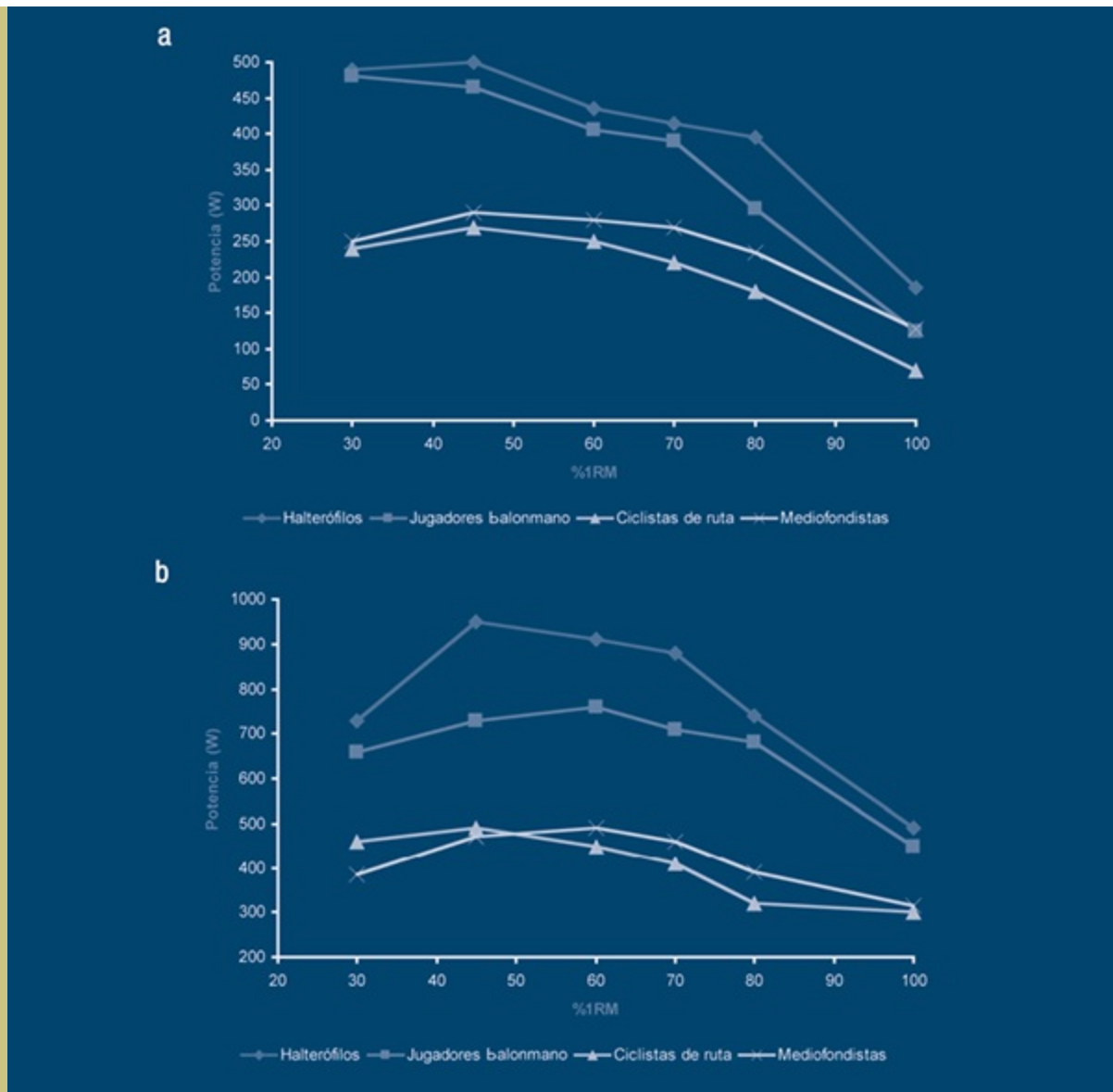


FIGURA 3.76. Comparación de la curva potencia-carga en prensa de pecho (a) y media sentadilla (b) en deportistas de distintas modalidades deportivas. En esta figura se puede comprobar que la potencia desarrollada con distintas intensidades relativas difiere significativamente entre deportistas de distintas modalidades deportivas y entre ejercicios. Aun considerando que los valores son promedio, la potencia máxima no se obtiene en todos los grupos a la misma intensidad relativa; en general se manifiesta a un porcentaje inferior en el ejercicio de prensa de pecho que en una media sentadilla. Considérese con estos datos, y con la ayuda del texto, que, aunque se puede establecer criterios de referencia sobre la intensidad relativa en la que se manifiesta la potencia máxima en los distintos ejercicios, es importante debido a la variabilidad que manifiesta su determinación directa en cada deportista.

Adaptado de Izquierdo M et al. Eur J Appl Physiol 2002;87:264-71.

Reorientación del entrenamiento mediante parámetros obtenidos en acciones motrices específicas

Acción motriz de salto

La **valoración de la fuerza explosiva mediante saltos** es común en el ámbito del entrenamiento deportivo y en la literatura científica. La medición de la capacidad de salto se realiza desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX con el método fotográfico de Marey y Demeny (1895) y los conocidos tests de Sargent (detente vertical) y Abalakov. Sin embargo, no es hasta finales de los años 1970, con la introducción de las plataformas de contacto, cuando Bosco desarrolló una batería de tests muy utilizados actualmente no sólo en las modalidades deportivas en las que los saltos forman parte esencial de la motricidad, sino también en todos los deportes en los que la fuerza explosiva de las extremidades inferiores se considera un factor de rendimiento.

La **plataforma de contacto** de Bosco o “Ergo Jump” es una alfombra conductiva conectada a un sistema de cronometraje electrónico que es accionado automáticamente por el mismo sujeto que salta en el momento del despegue y se cierra en el momento en que el pie contacta otra vez en la plataforma (figura 3.77), midiendo así el **tiempo de contacto** y el **tiempo de vuelo** y, por tanto, la altura del salto. El desarrollo tecnológico ha permitido un diseño más óptimo de la plataforma de contactos y la aparición de la **plataforma de infrarrojos** (figura 3.78), que permite medir el tiempo de contacto y de vuelo sobre la **superficie de competición**, y la **plataforma de fuerza** (figura 3.79), que, además de proporcionarnos información sobre el tiempo de contacto y de vuelo, determina la **fuerza ejercida** por el sujeto. A pesar de la evolución de las plataformas, el principio biomecánico básico sigue siendo el mismo, determinar el tiempo de vuelo del salto para el cálculo directo de la elevación del centro de gravedad.

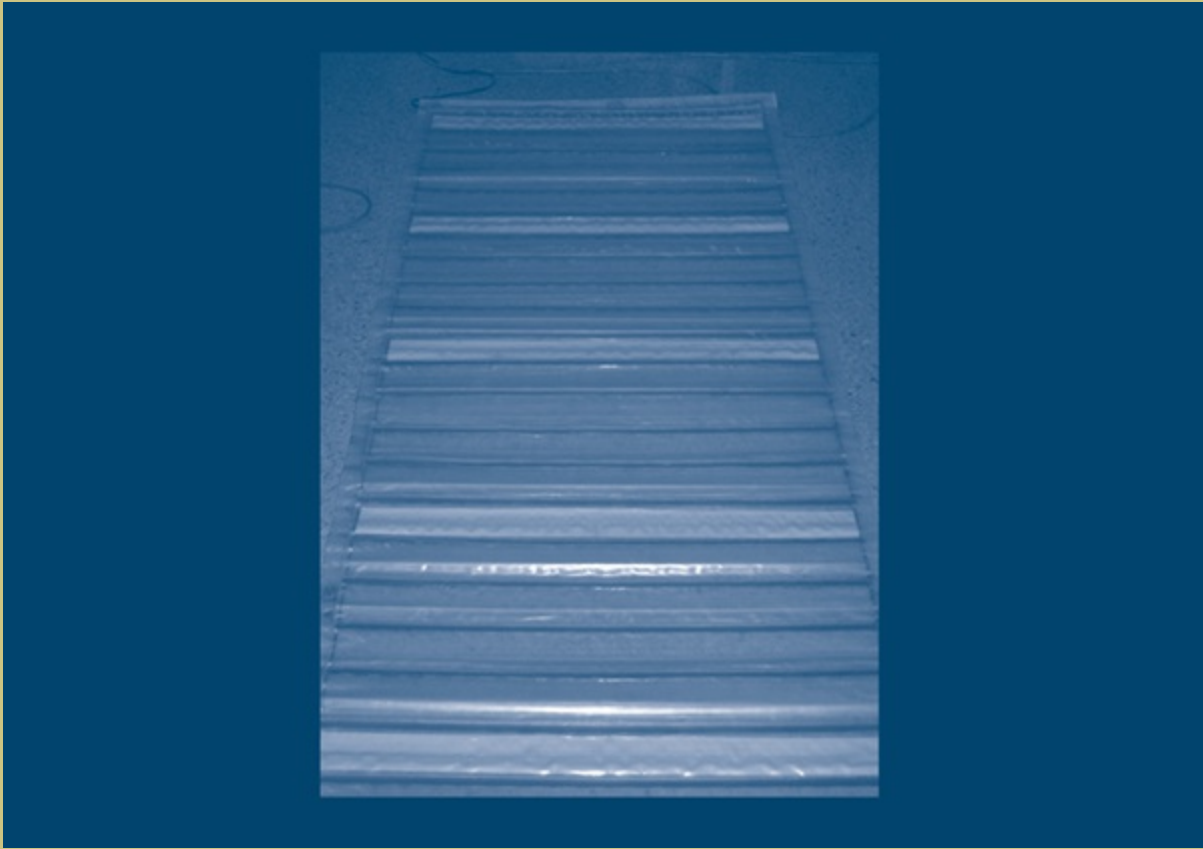


FIGURA 3.77. Imagen de una plataforma de contacto.

Original de los autores con instrumental del Grupo de Investigación Movimiento Humano.



FIGURA 3.78. Imagen de una plataforma de infrarrojos.

Original de los autores con instrumental del Grupo de Investigación Movimiento Humano.



FIGURA 3.79. Imagen de una plataforma de fuerza.

Original de los autores con instrumental del Centro de Medicina del Deporte del Gobierno de Aragón.

En relación con la manifestación de fuerza explosiva, los **principales tests de salto** utilizados son *squat jump* (SJ), *counter movement jump* (CMJ), *Abalakov* (ABK), *drop jump* (DJ), *rebound jump* (RJ) y *load jump* (LJ). El aspecto más relevante es que mediante los valores de estos tests es posible aislar distintos procesos neuromusculares e incluso determinar el **perfil neuromuscular del deportista**, permitiendo reorientar el proceso de entrenamiento de fuerza (Kubo *et al.*, 2000; Komi y Bosco, 1978).

En el **squat jump** (SJ) los sujetos parten de una posición estacionaria en semi *squat* enfatizando la **acción concéntrica** del movimiento; por tanto, es una medida de la capacidad contráctil del músculo. Las manos deben permanecer fijadas a la cadera y el tronco en alineación vertical. La inclinación del tronco está asociada a su participación en la manifestación de salto. Muchos deportistas, debido a problemas de movilidad, son incapaces

de mantener el tronco en posición vertical, considerándose la ejecución válida siempre y cuando se haga con la misma técnica. En el momento del despegue, la rodilla debe formar un ángulo de 180°, manteniendo las piernas estiradas en la fase de vuelo para caer con los pies hiperextendidos y las rodillas estiradas. Después de tomar contacto con la plataforma se pueden flexionar las rodillas hasta un ángulo aproximado de 90° (figura 3.80). La ejecución de un **counter movement jump** (CMJ) es equivalente a la descrita para el SJ, pero los sujetos parten de una posición erecta y realizan un **rápido movimiento descendente**, flexionando las rodillas y la cadera (figura 3.80). Aunque tradicionalmente se ha considerado que una ejecución es correcta cuando la flexión de rodillas es de 90°, actualmente se acepta el grado de flexión natural realizado por el deportista, debiendo corregirse únicamente desviaciones importantes. Algunos autores (Vélez, 2004; Dal Monte y Faina, 1999) también recomiendan ejecutar el CMJ con los **brazos libres**, **Abalakov** (ABK) (figura 3.80) con el fin de tener una valoración más específica para modalidades en los que tanto la potencia como la coordinación de salto son determinantes para el rendimiento (p. ej., voleibol, baloncesto, salto de altura).

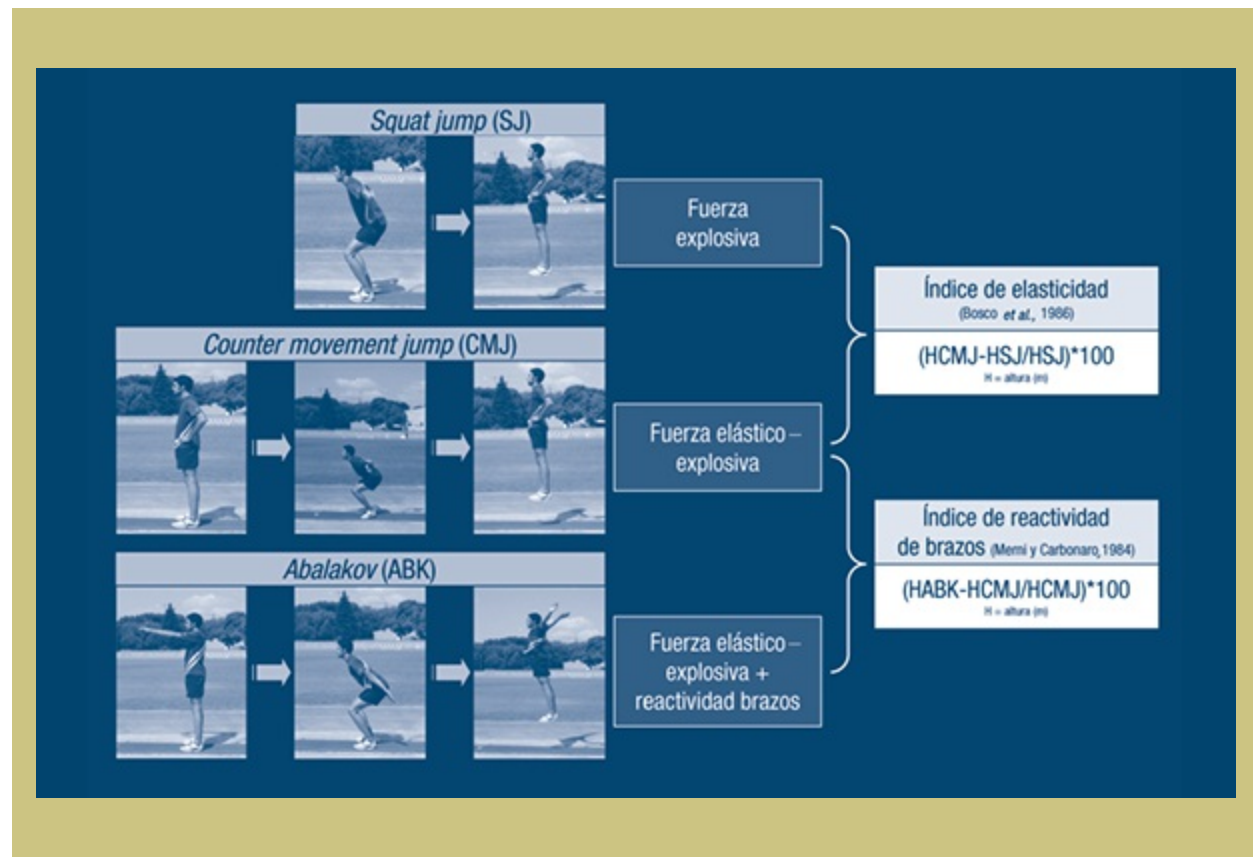


FIGURA 3.80. Protocolo e índices de evaluación de SJ, CMJ y ABK. Esta figura permite visualizar el protocolo descrito en el texto para la correcta ejecución de SJ, CMJ y ABK. La plataforma de contactos está situada debajo de la superficie de tartán con el fin de realizar una valoración sobre la misma superficie de competición. Obsérvese también la relación entre cada uno de los saltos y las distintas manifestaciones de fuerza explosiva. En este caso, la altura de salto del SJ es reflejo de la fuerza explosiva de las extremidades inferiores, considerando la influencia exclusiva de la capacidad contráctil. La altura del CMJ es reflejo de la fuerza elástico-explosiva, considerando la aportación de la energía elástica durante la fase de estiramiento. El CEA del CMJ es relativamente alto al requerir una elevada flexión, por lo que se considera insignificante la aportación del reflejo miotático. La ejecución del ABK es equivalente a la del CMJ, por lo que se considera igualmente la manifestación de fuerza elástico-explosiva de las extremidades inferiores, a lo que hay que añadir la participación de los brazos considerando su CEA. Si se relacionan el SJ y el CMJ, se puede establecer la aportación de la energía elástica, y si se relacionan el CMJ y el ABK, la aportación de la participación de los brazos.

Original de los autores con permiso del deportista.

La altura obtenida en el CMJ es superior a la obtenida en el SJ porque parte de la energía que se acumula en la fase excéntrica del movimiento podría almacenarse en los elementos elásticos y reutilizarse en trabajo en la fase concéntrica del movimiento (Bosco *et al.*, 1982). No obstante, se considera que la mejora de la altura del CMJ respecto al SJ se debe en ~70% al componente elástico y en ~30% al componente reflejo (Bosco *et al.*, 1985). Sin embargo, tradicionalmente, como se especifica en la figura 3.80, mediante la relación de la altura del SJ y del CMJ se calcula el **índice de elasticidad** (Bosco *et al.*, 1986). Como la reutilización de la energía elástica es mayor cuanto más rápido es el CEA (Henchoz *et al.*, 2006), un deportista con una altura óptima en el SJ y un bajo nivel de índice de elasticidad debería basar el entrenamiento en la ejecución de ejercicios específicos asistidos, mientras que los deportistas con relativamente buen índice de elasticidad pero con un nivel bajo de altura en el SJ deberían obtener los mayores beneficios realizando ejercicios con sobrecargas y específicos resistidos. La altura del ABK es superior a la altura del CMJ debido a la participación de los brazos en la manifestación de fuerza. Relacionando la altura de los 2 saltos es posible establecer el **índice de reactividad de brazos** (Merni y Carbonaro, 1984) (figura 3.80). Un déficit de la relación de la altura ABK/CMJ es indicativo de una peor coordinación intermuscular y de menor activación refleja de las extremidades superiores. Un elevado grado de fiabilidad en cualquiera de los tests de saltos descritos únicamente es posible mediante la ejecución de 2-3 intentos, seleccionado el salto en el que se obtenga la mayor altura.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En la figura 3.81 se presentan datos reales de la altura del SJ, CMJ y ABK en 3 saltadores de altura de nivel nacional, lo que nos permite ejemplificar la utilidad de estos tests para **reorientar el entrenamiento** de fuerza.

Dada la popularidad de estos tests, se dispone de **datos normativos** de la mayoría de las disciplinas deportivas. En la tabla 3.23 mostramos la altura del SJ, el incremento de altura respecto al SJ al realizar un CMJ y el índice de elasticidad en deportistas de elite italianos que compiten en distintas disciplinas.

Aunque no es objeto de este tratado realizar un análisis exhaustivo de tales resultados aportados, sí queremos destacar lo más importante. Como era de esperar, en las modalidades deportivas en las que la fuerza explosiva de las extremidades inferiores es factor de rendimiento se observa una mayor altura del CMJ: 100 y 200 m en atletismo (53 cm), 110 m vallas (50,5 cm), salto de altura (52 cm), salto de longitud (53 cm), triple salto (53,2 cm), voleibol (50,2 cm) y salto de esquí (52 cm). Los resultados encontrados en el índice de elasticidad son más difíciles de interpretar; así, mientras que parece lógico encontrar una elevada reutilización de la energía elástica en modalidades deportivas en las que el CEA es muy corto (100 y 200 m en atletismo, 20,5; salto de longitud, 17,3; triple salto, 23,2), también encontramos índices similares en otras disciplinas en las que la manifestación explosiva de la fuerza no es determinante (p. ej., maratón, esquí de fondo y esquí náutico). Probablemente, los resultados en estas disciplinas son debidos a la baja capacidad contráctil asociada a los bajos niveles del SJ. Son de interés los bajos índices de elasticidad encontrados en la mayoría de los deportes de equipo. Esto se puede atribuir a la motricidad específica de estos deportes, caracterizados por continuos cambios de dirección que determinan un CEA relativamente largo. Sorprendente también es bajo el índice de elasticidad en todas las modalidades deportivas analizadas para la población femenina. Aunque los datos deben ser interpretados en cada contexto específico, una desviación excesiva de un deportista sobre parámetros de referencia de deportistas de elite de su disciplina deportiva puede servirnos para determinar en qué aspectos hay que incidir en mayor medida en el entrenamiento. Así, un deportista que tenga un valor de SJ acorde a su modalidad deportiva, pero cuyo valor del CMJ sea relativamente bajo, tendrá que incidir en el trabajo de ejercicios con un CEA muy corto con el objetivo de mejorar la reutilización de la energía elástica y el reflejo miotático; mientras que un deportista que muestre un gran índice de elasticidad en relación con su modalidad deportiva,

pero un valor bajo de SJ, tendrá que incidir en ejercicios orientados al trabajo de la capacidad contráctil del músculo.

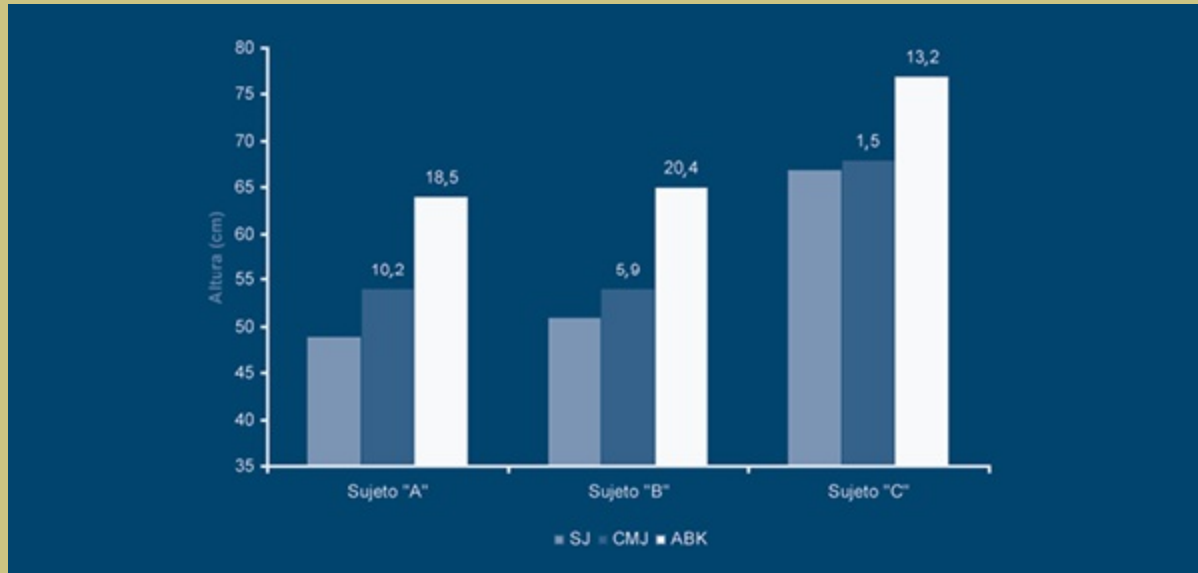


FIGURA 3.81. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza mediante la comparación en tres saltadores de altura de los valores de SJ, CMJ y ABK. Los números mostrados sobre la altura del CMJ y del ABK corresponden, respectivamente, a los índices de elasticidad y de participación de los brazos. Obsérvese la aplicabilidad que la relación entre SJ, CMJ y ABK tiene para reorientar el entrenamiento de las modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva con las extremidades inferiores. Considere que el sujeto "A" debe incidir prioritariamente en la mejora de su capacidad contráctil, especialmente mediante ejercicios con sobrecargas a distintas intensidades relativas. Relativamente, sus índices de elasticidad y de participación de brazos son óptimos, pero su altura de salto nunca podrá ser elevada si no mejora la altura del SJ. El sujeto "B" relativamente sólo tiene valores óptimos del índice de participación de brazos. Este deportista debe focalizar el entrenamiento en ejercicios con sobrecargas a distintas intensidades relativas para mejorar su capacidad contráctil, así como en ejercicios específicos que incidan en la reutilización de la energía elástica. El sujeto "C" tiene una excelente altura de salto como consecuencia de su elevada capacidad contráctil. Sin embargo, es muy deficitaria la reutilización de energía elástica y el aprovechamiento de la participación de brazos. Con estos datos, debe focalizar el entrenamiento en la ejecución de ejercicios específicos que incidan en la reutilización de la energía elástica, así como en ejercicios que incidan en una mejora de la fuerza y coordinación de los brazos.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Vélez (2004) establece posibles **variantes en la ejecución técnica** del SJ y el CMJ (figura 3.82). La primera establece la ejecución de ambos tests con

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

una pica situada en el trapecio para simular la ejecución técnica de los saltos con sobrecargas (LJ). Esta variación técnica otorga mayor validez a los distintos análisis que se establecen entre SJ, CMJ LJ. La segunda variante es la ejecución con o sin pica del SJ, partiendo desde la máxima flexión de rodillas y caderas, **rocket jump** (RKJ). El objetivo de esta variante es evitar el ligero contramovimiento que de forma natural suele objetivarse en la ejecución de un SJ. Para determinar criterios de validez del SJ en relación con el aprovechamiento de la energía elástica, se considera que una ejecución es válida si no ha habido una variación del ángulo de la rodilla superior a 2°.

El **drop jump** (DJ), aunque incluido en la batería de tests de Bosco, ya formaba parte del programa de entrenamiento de saltos de deportistas rusos a finales de los años 1960. En el DJ se establecen dos variantes. La primera variante es el **bounce drop jump** (BDJ) en el que los deportistas situados sobre una **plataforma a una determina altura** dan un paso hacia delante y realizan un salto máximo inmediatamente después del aterrizaje en el suelo. Para la posición del tronco y de los brazos sirven las indicaciones efectuadas en el SJ y CMJ. Igualmente, se debe ejecutar 2-3 intentos para obtener un elevado grado de fiabilidad. En el BDJ sólo se manifiesta un **pequeño movimiento hacia abajo**. Esto significa que las flexiones de cadera y de rodilla son desaceleradas rápidamente, y de manera concomitante transcurre muy poco tiempo entre el instante con mayor pico de velocidad de estiramiento del músculo y el comienzo de la acción concéntrica. Como la **activación del reflejo miotático** está asociada a la menor duración del CEA, los resultados del BDJ se consideran dependientes, además de la capacidad contráctil y elástica, de la capacidad refleja o reactiva del deportista. La segunda variante es el **counter drop jump** (CDJ), cuya ejecución es idéntica a la relatada para el BDJ, pero en este caso durante el contacto con el suelo se realiza una **flexión de rodilla próxima a los 90°**. Ambos tests pueden ejecutarse **con o sin brazos libres** (figura 3.83).

TABLA 3.23. Datos normativos de SJ, CMJ e índice de elasticidad (IE) en deportistas de elite italianos de distintas disciplinas

	SJ	CMJ	IE		SJC	MJ	IE		SJC	MJ	IE
Hombres											
<i>Atletismo carreras</i>				<i>Atletismo, saltos y lanzamientos</i>				<i>Deportes de equipo</i>			
110 m vallas (4)	45,0	50,5	12,2	Salto altura (6)	46,0	52,0	13	Voleibol (6)	45,8	47,8	4,4
100-200 m (8)	44,0	53,0	20,5	Salto longitud (6)	45,2	53,0	17,3	Baloncesto (19)	43,4	47,1	8,5
400 m vallas (6)	42,0	46,2	10,0	Triple salto (5)	43,2	53,2	23,2	Balonmano (16)	39,3	41,5	5,9
400 m (4)	40,0	44,8	12,0	Salto pértiga (5)	39,0	43,0	10,3	Fútbol (23)	38,0	41,6	9,5
800-1.500 m (4)	34,2	39,5	15,5	Disco (4)	43,0	49,2	14,4	Hockey (13)	37,8	41,8	10,6
5.000-10.000 m (15)	30,1	34,8	15,6	Martillo (5)	41,0	45,0	9,8	Waterpolo (12)	30,0	32,0	6,7
Maratón (4)	23,0	27,3	18,7	Jabalina (6)	36,5	39,2	10,1				
<i>Otras modalidades deportivas</i>											
Esquí salto (9)	49,0	52,0	6,1	Esquí fondo (4)	22,5	28,5	26,7	Patinaje artístico (5)	36,0	40,0	11,1
Esquí eslalon (10)	45,2	49,9	10,4	Esquí náutico (4)	21,8	28,5	30,7	Lucha greco. (11)	35,0	41,8	19,4
Esquí descenso (4)	44,8	49,7	10,9	Tenis (27)	39,0	41,5	6,4	Boxeo (7)	33,1	37,4	13
Mujeres											
Balonmano (18)	35,9	37,3	3,9	Waterpolo (14)	23,0	24,8	7,8	Velocistas (10)	34,0	36,2	6,5
Voleibol (12)	35,0	36,0	2,9	Sofball (16)	29,4	30,5	3,7	Esquí alpino (4)	35,2	37,5	6,5
Fútbol (18)	28,2	29,7	5,3	Gimnasia artis. (10)							

En paréntesis se establece el número de sujetos estudiados.

Elaborado con datos de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione. UTET 1999.

Estas dos técnicas se diferencian, en primer lugar, por los músculos implicados, respectivamente, tríceps sural y cuádriceps, y también se ha especulado que una menor flexión de rodilla permite desarrollar una mayor potencia muscular al disminuir el tiempo del CEA, mientras que una flexión mayor induce una mejora coordinativa (Bobbet, 1990). De acuerdo con Bobbert (1990), dos variables son fundamentales en el control de este ejercicio, afectando significativamente el rendimiento mecánico: la altura de la plataforma y la técnica utilizada. La potencia desarrollada en el BDJ y en el CDJ es dependiente del tiempo de contacto y de la altura de salto. Ambas

variables están influidas por la altura de la plataforma. Por este motivo, con el objetivo de determinar la **altura óptima a que cada deportista desarrolla la potencia máxima**, hay que ejecutar el ejercicio desde diferentes alturas (p. ej., 20, 40, 60 y 80 cm) (figura 3.84). Como se establece en la figura 3.84, relacionando el tiempo de contacto, la altura de vuelo y la altura de la plataforma, diferentes autores han establecido distintos índices que globalmente están asociados a la potencia manifestada. En la figura 3.85 se muestra cómo, incluso en saltadores de altura de nivel nacional, la altura de caída en la que se obtiene la máxima potencia en la ejecución del BDJ difiere entre los deportistas.

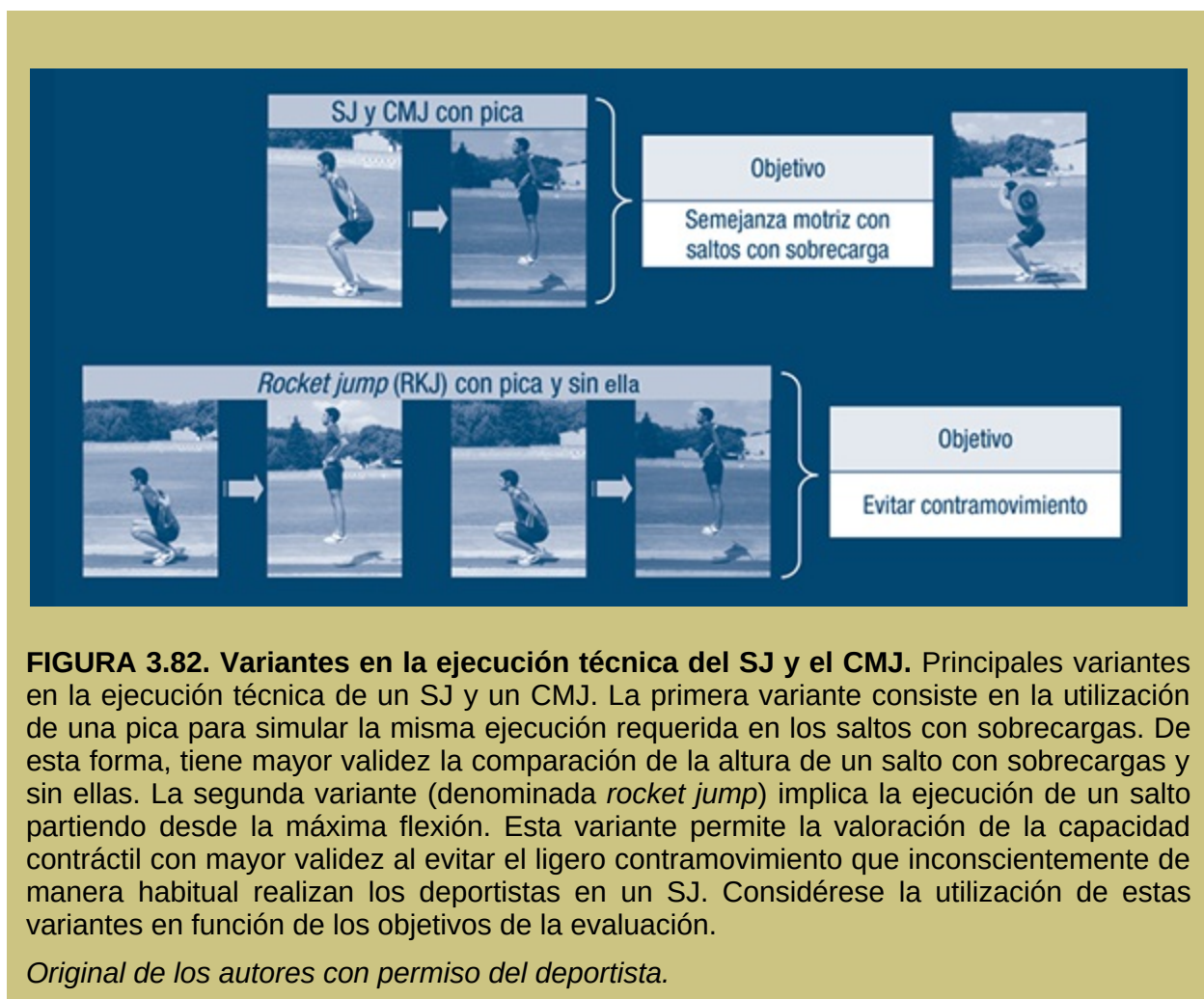




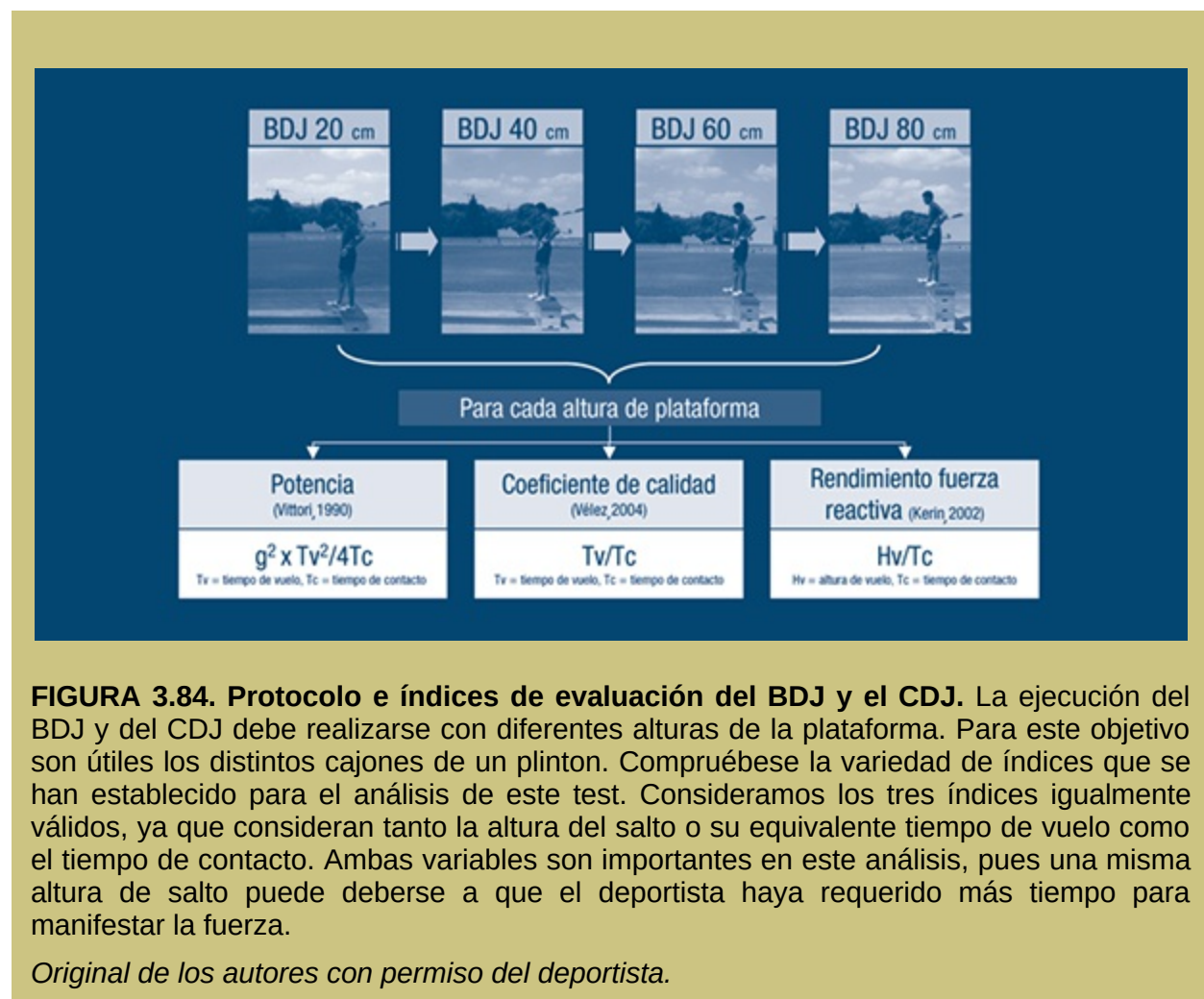
FIGURA 3.83. Secuencia de ejecución técnica del BDJ y el CDJ. Véase la correcta ejecución descrita en el texto durante un BDJ y un CDJ. En el BDJ se requiere la mínima flexión posible, y en el CDJ la flexión es equivalente a la del CMJ. Considérese también la ejecución de ambos tests con la utilización de brazos para simular el ABK.

Original de los autores con permiso del deportista.

El incremento inicial de la altura de salto con la distancia de caída, observado en la mayoría de los deportistas, ha sido atribuido a que una mayor altura incrementa la cantidad de energía almacenada en los elementos elásticos (Komi y Bosco, 1978). Estos autores argumentan que un aumento de la altura de la plataforma por encima de la óptima determina una menor altura de salto debido a reflejos inhibitorios al activarse los órganos de Golgi por un exceso de fuerza muscular. Sin embargo, este argumento ha sido muy discutido y actualmente se considera que al menos en gran parte la variación de la altura de salto con la distancia de caída se debe a una variación significativa de la técnica de salto. De hecho, Bobbert *et al.*, (1987), controlando la técnica de ejecución, no encontraron diferencias en la altura de salto para una altura de la plataforma de 20 y 60 cm. En su trabajo de revisión, Bobbert (1990) indica que, conforme aumenta la altura de caída, es más difícil controlar la ejecución correcta de un BDJ, realizando una mayor flexión de rodillas al aterrizar y, por tanto, aproximándose a la ejecución de un CDJ. Esto puede explicar el incremento de altura de salto al aumentar la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

altura de la plataforma, ya que la que corresponde a un CDJ es mayor que la de un BDJ. Es posible que, cuando la altura de la plataforma sea excesiva, la altura de salto disminuya debido a la sensación de un mayor riesgo de lesión y a un incremento excesivo tanto del tiempo como de la fuerza excéntrica necesaria en la amortiguación de la caída, lo que también puede influir en una pérdida de reutilización de energía elástica. Estas reflexiones quedan perfectamente ejemplificadas en la figura 3.86, en la que se muestra en diferentes grupos de saltadores de altura los datos promedio de altura de salto, tiempo de contacto y potencia al ejecutar el BDJ desde diferentes alturas de la plataforma.



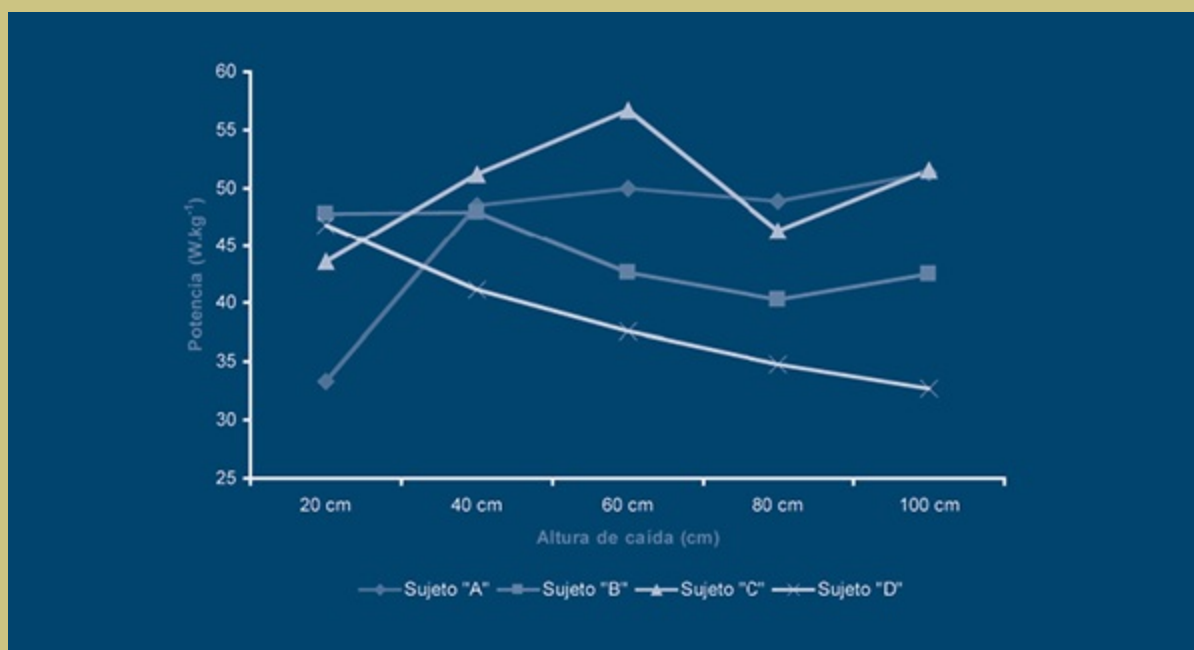


FIGURA 3.85. Relación entre la potencia y la altura de la plataforma en la ejecución del BDJ de cuatro saltadores de altura de nivel nacional. Este ejemplo es ilustrativo de la importancia de analizar el BDJ, o en su caso en el CDJ, desde diferentes alturas de la plataforma. La potencia desarrollada, que relaciona la altura del salto con el tiempo para manifestar la fuerza, difiere lógicamente entre los deportistas, pero también en un mismo deportista en función de la altura de la plataforma. Cada uno de los saltadores desarrolla su potencia máxima con distinta altura de la plataforma, respectivamente, con una altura de 100, 40, 60 y 20 cm, para los sujetos "A", "B", "C" y "D". Para cada uno de ellos, las alturas indicadas son las más eficaces para utilizar en el proceso de entrenamiento.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Desde una perspectiva práctica, consideramos que se debe tener especial prudencia en la valoración de la altura de plataforma más eficaz en la ejecución de un BDJ. Si el incremento de la altura de salto viene determinada por una variación significativa de la técnica de ejecución y/o un incremento del tiempo de contacto, es posible que la altura de la plataforma seleccionada para el entrenamiento sea errónea, o cuando menos no la más óptima para obtener el beneficio de la ejecución de un BDJ. En este sentido, consideramos que, independientemente de la variación técnica, la altura óptima de la plataforma es aquella en la que el deportista manifiesta su potencia máxima. La valoración de este parámetro es relevante si consideramos la eficacia de este ejercicio para mejorar la fuerza explosiva en acciones motrices específicas.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Un aspecto controvertido es la comparación entre la **altura de salto de un CMJ y la de un BDJ**. Algunos autores como Vélez consideran que la mayor altura obtenida en el BDJ es consecuencia de la incorporación de unidades motrices por vía refleja, y por tanto, como se ha especificado anteriormente, la diferencia de altura entre ambos tests puede servir como indicador de la capacidad reactiva del deportista. Aunque este criterio puede considerarse válido, es necesario matizar dos aspectos relevantes. En primer lugar, el grado de flexión de rodilla y cadera, difiriendo en consecuencia la intervención muscular significativamente entre ambos ejercicios. Además, una mayor altura del BDJ respecto al CMJ sólo se observa en deportistas altamente experimentados y con una muy buena técnica de ejecución del BDJ. Por ejemplo, en datos obtenidos por el grupo de investigación Movimiento Humano en un equipo masculino de la máxima categoría española de voleibol, la altura del CMJ fue considerablemente superior a la del BDJ ejecutado desde una plataforma de 45 cm ($45,3 \pm 4,1$ vs. $36,0 \pm 6,2$ cm).

Atendiendo a la **dificultad de ejecución técnica del BDJ**, para la mayoría de los deportistas, una solución adecuada para determinar su capacidad reactiva es la ejecución del test **rebound jump** (RJ) o test de Bosco-Vittori, que implica la ejecución de 10 **saltos sucesivos con la mínima flexión de rodillas** (figura 3.87). El RJ puede valorarse **con o sin brazos libres**. La valoración de la **capacidad reactiva** está asociada a la selección de los tres mejores saltos. En este test es necesario considerar la altura de salto o tiempo de vuelo y el tiempo de contacto. En este sentido, dos deportistas pueden alcanzar la misma altura de salto difiriendo en el tiempo necesario para la manifestación de la fuerza. Así, la **potencia manifestada** será menor cuanto menor sea la altura de salto y mayor sea el tiempo de contacto. Por este motivo, al igual que en el BDJ y en el CDJ, los indicadores de evaluación deben relacionar la altura o tiempo de vuelo y el tiempo de contacto. Como la valoración del RJ implica la selección de los tres mejores saltos, los índices de evaluación se determinan mediante el sumatorio (Σ) del tiempo de vuelo o altura y del tiempo de contacto de los tres saltos (figura 3.87). Como ejemplo, se muestra la relación entre el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto, asociado al coeficiente de calidad, en diferentes grupos de saltadores de altura (figura 3.88), y la potencia desarrollada por deportistas italianos de ambos sexos de distintas disciplinas (figura 3.89).

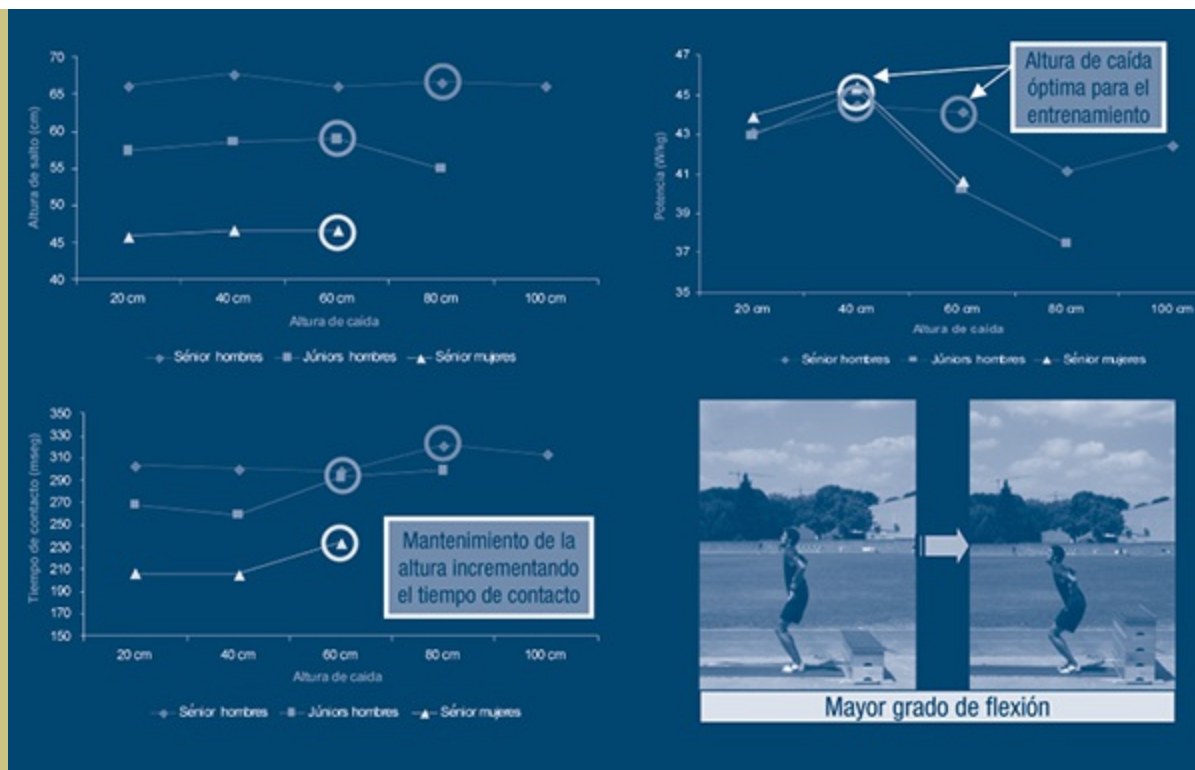


FIGURA 3.86. Relación entre la altura de salto, el tiempo de contacto y la potencia en un BDJ con la altura de la plataforma en distintos grupos de saltadores de altura y su posible relación con el grado de flexión de rodillas. Este ejemplo es ilustrativo de la posible interpretación errónea de analizar el BDJ según la altura de salto obtenida. Los grupos de sénior hombres, júnior hombres y sénior mujeres consiguen mantener e incluso mejorar ligeramente la altura de salto desde una altura de plataforma, respectivamente, de 80, 60 y 60 cm. Para alcanzar esta altura de salto han necesitado mayor tiempo de manifestación de fuerza que en alturas inferiores; en consecuencia, se puede verificar que para las alturas de la plataforma indicadas los deportistas no manifestaron su potencia máxima. La potencia máxima para los tres grupos mencionados se manifiesta, respectivamente, con una altura de la plataforma de 60, 40 y 40 cm. Véase en la fotografía un ejemplo real que demuestra cómo a una altura determinada de la plataforma, individualizada para cada deportista, los sujetos requieren una mayor flexión, aproximándose a la ejecución de un CDJ, que determina un mayor tiempo de aplicación de fuerza y la intervención de otros grupos musculares.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco y con permiso del deportista.



FIGURA 3.87. Protocolo e índices de evaluación del RJ. Véase la correcta ejecución descrita en el texto para la valoración de un RJ. Obsérvese el mínimo grado de flexión y que este test puede ser muy adecuado para valorar la reactividad de las extremidades inferiores para la mayoría de los deportistas que tienen dificultades técnicas durante la ejecución del BDJ. Compruébense los diferentes índices establecidos para analizar este test; cualquiera de ellos es válido, ya que consideran la altura de salto y el tiempo para manifestar la fuerza. Considérese la importancia de valorar varios saltos para aumentar la validez del test y, por tanto, el sumatorio en los índices establecidos tanto de la altura de salto o tiempo de vuelo como del tiempo de contacto.

Original de los autores con permiso del deportista.

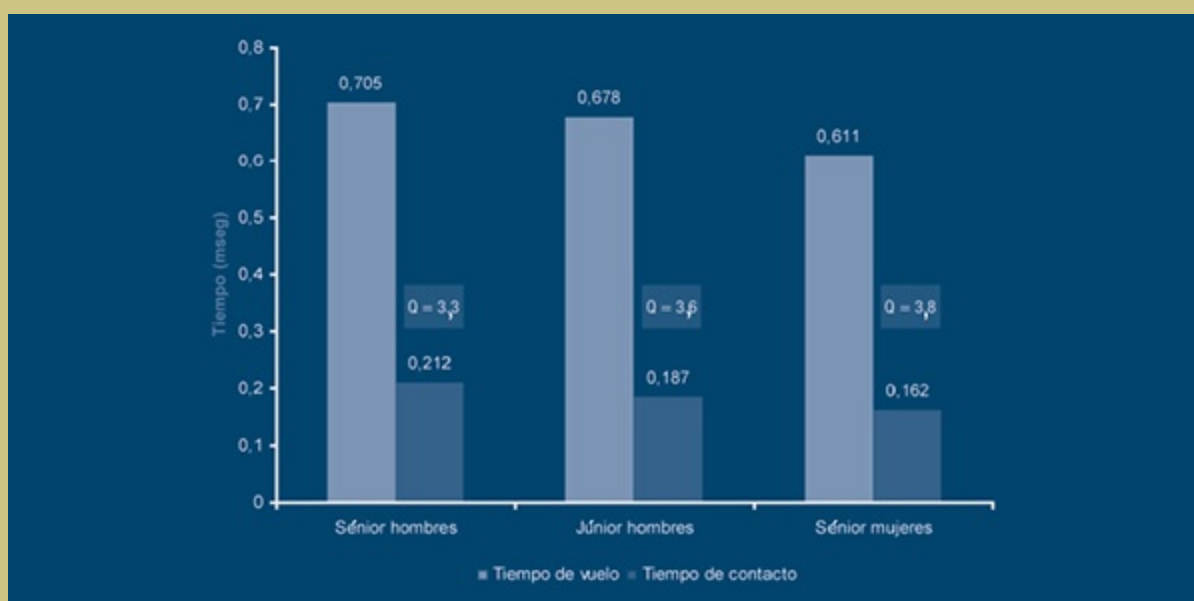


FIGURA 3.88. Relación entre el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto del RJ en saltadores de altura de nivel nacional. Obsérvese la suma del tiempo de vuelo y del tiempo de contacto y su correspondiente coeficiente de calidad (Q) en los tres grupos estudiados. Los saltadores sénior hombres desarrollan mayor altura de salto, pero tienen un peor coeficiente de calidad debido a un mayor tiempo de contacto. Similar análisis cabe verificar en la comparación entre los júnior hombres y sénior mujeres. Estos datos pueden servir para reorientar su entrenamiento, aunque debe considerarse la importancia relativa que para las distintas modalidades deportivas tiene el tiempo requerido para manifestar fuerza. Por ejemplo, un mayor tiempo de contacto manifestando la misma fuerza conduce inevitablemente a un peor rendimiento en acciones de desplazamiento.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

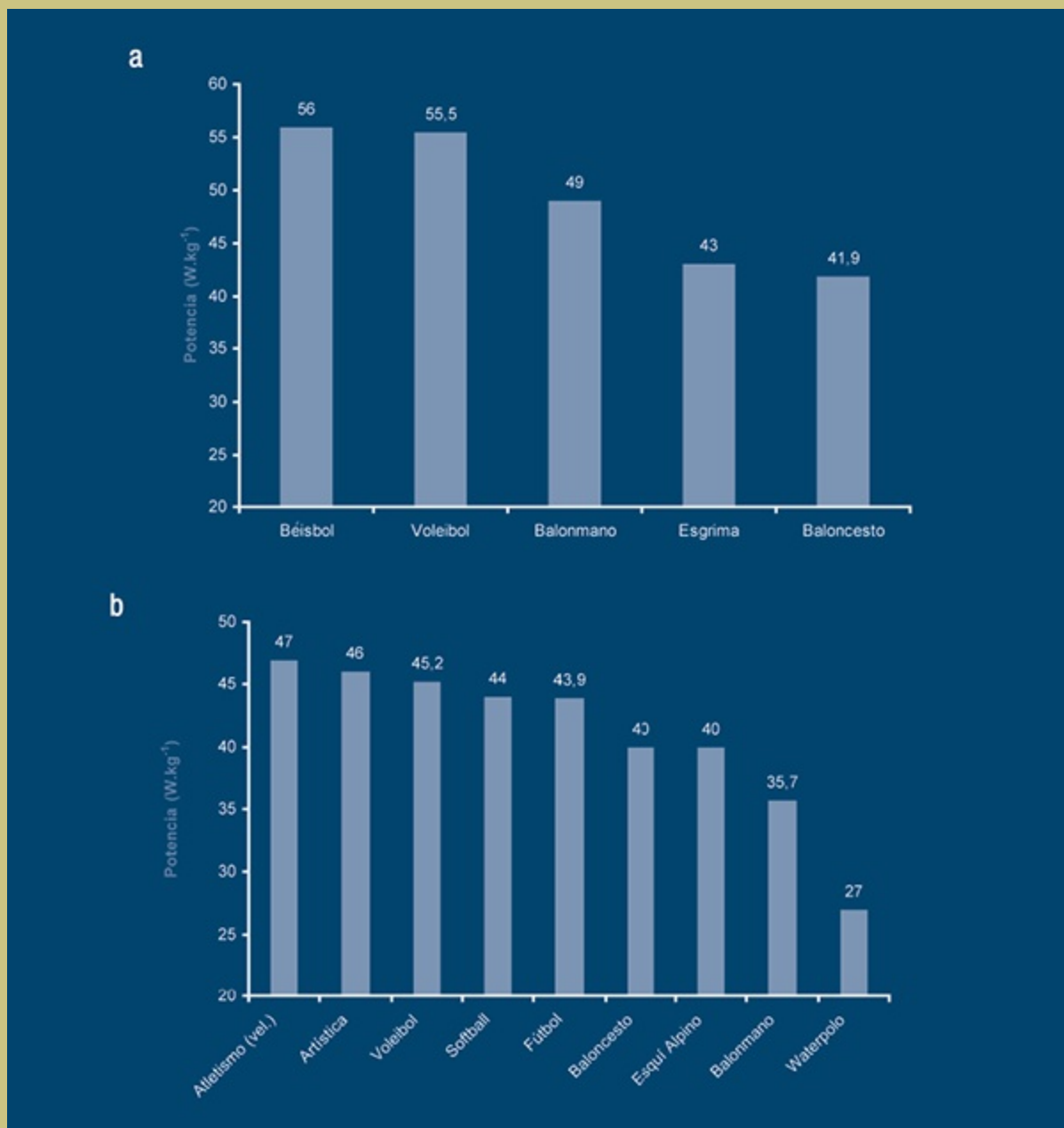


FIGURA 3.89. Datos normativos para hombres (a) y mujeres (b) de la potencia del RJ en deportistas de elite italianos de distintas disciplinas. Estos datos pueden servir de referencia para una comparación relativa con sus deportistas.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET 1999.

Probablemente, el test de salto que aporta mayor información para evaluar el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza es la ejecución del SJ o el CMJ con un incremento progresivo de la carga. Este test, denominado **load**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

jump (LJ), aporta en un movimiento balístico la **curva altura-carga**, una medida indirecta de la curva fuerza-velocidad y la **curva de potencia-carga**. Además, es posible determinar el **déficit de fuerza** mediante el índice de Bosco y la carga óptima en la que cada deportista manifiesta su **potencia máxima**. Originariamente, este test fue descrito como la ejecución del SJ con sobrecargas, pero la dificultad de ejecutar el SJ sin una previa ligera flexión de rodillas ha llevado a que habitualmente el LJ se ejecute con la técnica descrita para el CMJ. La **progresión de la carga** es dependiente del objetivo de la evaluación y del nivel de los deportistas. Habitualmente, la progresión se realiza incrementando la carga en función del peso corporal (p. ej., 25%, 50%, 75% y 100% del peso corporal) o en valores absolutos (p. ej., 20, 40, 60, 80 y 100 kg para hombres; 15, 30, 45, 60 y 75 kg para mujeres). Lógicamente, el primer valor del test es la altura obtenida durante la ejecución del SJ o del CMJ sin sobrecarga. El máximo nivel de carga depende del nivel del deportista, considerando siempre que la ejecución técnica sea correcta y que la altura de salto sea superior a 10 cm. Para desarrollar la máxima potencia, la recuperación entre los distintos saltos debe ser completa, 2 min, y para obtener un elevado grado de fiabilidad se recomienda hacer dos intentos para cada nivel de carga.

La determinación real de la curva fuerza-velocidad implica la ejecución del test sobre una plataforma de fuerzas, determinando la fuerza concéntrica desarrollada y, mediante electrogoniometría, la velocidad angular de la articulación de la rodilla. Sin embargo, como la altura de salto es dependiente tanto de la velocidad de despegue como de la fuerza manifestada, se considera a efectos prácticos válida la relación carga/altura como indicador indirecto de la relación fuerza/velocidad, pudiendo realizar el test sobre una plataforma de contacto o de infrarrojos. Para el **cálculo de la potencia** existen diversos métodos, en función principalmente del procedimiento experimental utilizado para la recopilación de los datos: el cálculo de la potencia utilizando sólo datos de desplazamiento, el cálculo a partir de datos de la fuerza de reacción vertical ejercida sobre una plataforma de fuerza, la combinación de los dos métodos anteriores y el cálculo a partir de un acelerómetro. Dugan *et al.*, (2004) mostraron que la determinación de la curva de potencia durante la ejecución del LJ varía significativamente en función del método utilizado. A efectos prácticos de determinar la carga con la que cada deportista manifiesta su potencia máxima, hemos obtenido información útil utilizando la fórmula propuesta por González-Badillo (2003)

(figura 3.90).



Existen numerosos ejemplos de la utilidad del LJ como criterio diagnóstico de los efectos parciales durante el desarrollo de un programa de entrenamiento de fuerza, lo que permite **reorientar el entrenamiento**. En deportistas de elite, los resultados de este test muestran una elevada sensibilidad a la especificidad del entrenamiento realizado y son válidos para

discriminar entre atletas de distinto nivel de rendimiento; además los valores son fiables. Esto determina que el perfil de la potencia desarrollada a distintos niveles de carga sea una de las valoraciones más apropiadas para individualizar el entrenamiento de fuerza (Sheppard *et al.*, 2008). Uno de los ejemplos más representativos fue mostrado por Vélez (2003) mediante la evolución de la curva carga-altura durante un ciclo completo de entrenamiento (macrociclo) en un saltador de altura de nivel nacional (2,20 cm en la misma semana de ejecución del último test) (figura 3.91). Durante los 2 meses que transcurren entre las dos primeras valoraciones, se evidencia que el deportista manifiesta valores equiparables de salto sin sobrecarga, incrementando significativamente en la segunda valoración la altura de salto conforme aumenta el nivel de sobrecarga. Estos resultados son probablemente consecuencia del entrenamiento con una intensidad relativa de carga elevada característico de la primera parte de un ciclo de entrenamiento de fuerza. En cambio, en relación con la segunda valoración, se evidencia en la valoración final que el deportista manifiesta valores equiparables de salto con cargas elevadas y una mejora significativa de la altura de salto sin sobrecarga y con sobrecargas relativamente bajas. La evolución de la curva carga-altura entre estas dos valoraciones es probablemente consecuencia del entrenamiento con ejercicios más específicos y con sobrecargas de menor intensidad relativa característico de la última parte de un ciclo de entrenamiento de fuerza. En este ejemplo y con los datos aportados, podríamos indicar que el entrenamiento realizado por este deportista ha producido los efectos deseados en cada período del ciclo de entrenamiento. Aunque sería necesario un análisis con una amplia muestra de deportistas, la evolución del rendimiento del deportista ilustrado (temporada anterior: 1,98 m en pista cubierta; temporada de la valoración: 2,14 m al aire libre) permite intuir la validez de este test para determinar los efectos del entrenamiento y el estado de prestación del deportista.

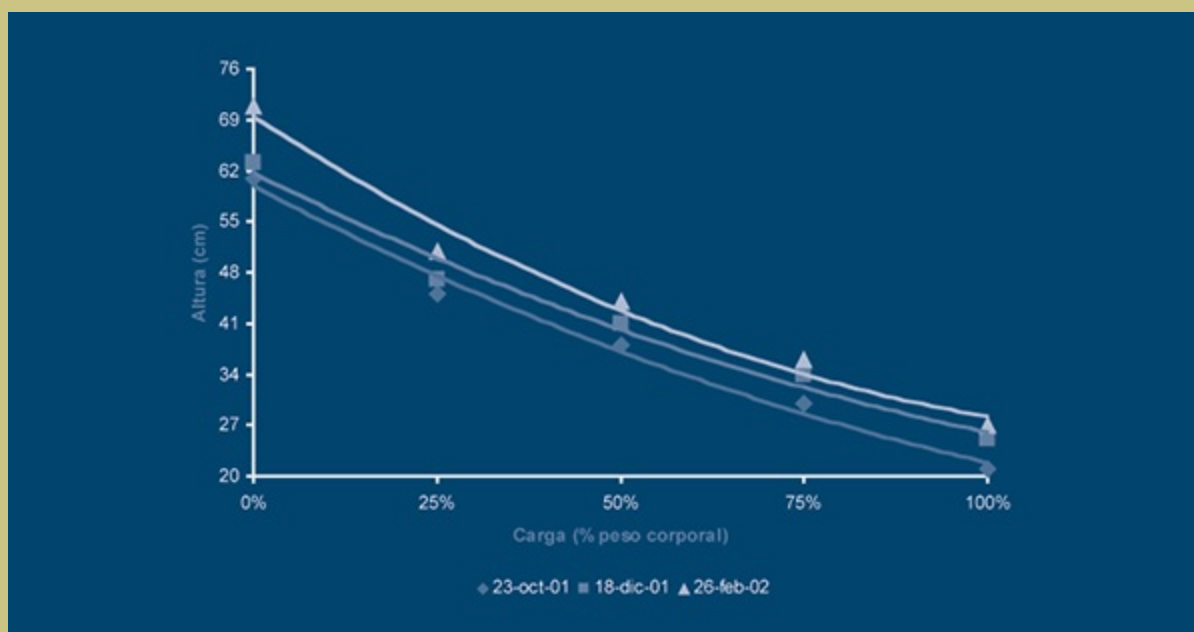


FIGURA 3.91. Evolución durante un macrociclo de la curva carga-altura de un LJ en un saltador de altura de nivel nacional. Este ejemplo ilustra el potencial de la valoración del LJ para determinar los efectos parciales y reorientar el entrenamiento de fuerza. Léase en el texto el análisis exhaustivo realizado sobre la evolución de la carga-altura de este deportista.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

La evolución de la carga-altura en el LJ, además de ser dependiente de la especificidad del entrenamiento, está influida por la reserva actual de los deportistas. Por ejemplo, Dal Monte y Faina (1999) muestran que el efecto de un ciclo parcial de entrenamiento de fuerza en un grupo de jugadores de baloncesto con elevada experiencia estuvo asociado a una mejora de la altura de salto con sobrecargas elevadas y a una disminución en el salto sin sobrecargas. En cambios, estos autores describen que, en atletas de mediodondo, con menor experiencia en el entrenamiento con sobrecargas, el efecto de un ciclo parcial de entrenamiento de fuerza estuvo asociado a una mejora de la altura de salto, independientemente del nivel de sobrecarga. Numerosos ejemplos de datos personales muestran este efecto diferencial del entrenamiento sobre la curva carga-altura.

Aunque la mejor forma de reorientar el entrenamiento de fuerza implica la determinación longitudinal de datos del mismo deportista, la comparación en un determinado momento de la temporada de deportistas de la misma

disciplina deportiva nos permite conocer el nivel de un deportista en relación con el resto de sus compañeros, e incluso tener una referencia que puede sugerir la necesidad de realizar un entrenamiento de distintas características. Así, por ejemplo, el sujeto “A” representado en la figura 3.92 probablemente se beneficiará en mayor medida de un entrenamiento con sobrecargas, mientras que en el sujeto “B” es de esperar mejores resultados con un entrenamiento de ejercicios específicos.

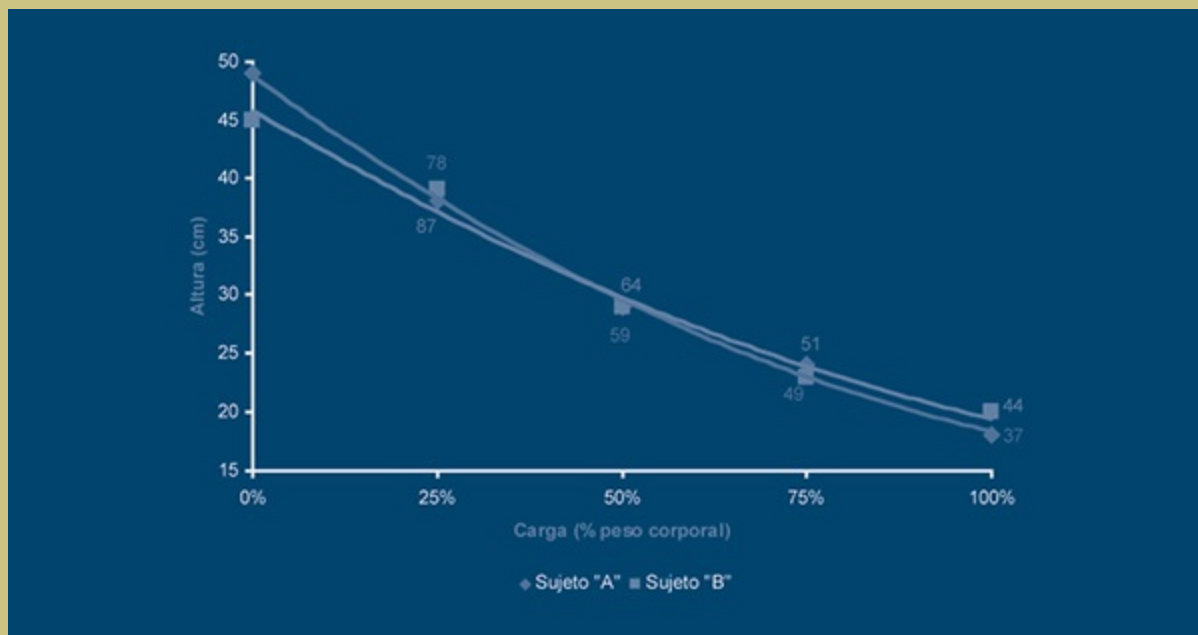


FIGURA 3.92. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza mediante la comparación en dos saltadores de altura de la curva carga-altura de un LJ. Cabe comprobar cómo el sujeto “A” disminuye relativamente su manifestación de fuerza al aumentar la sobrecarga del salto, lo que aconseja priorizar la ejecución de ejercicios con sobrecargas tradicionales y balísticos con una intensidad relativa elevada. De esta forma, podrá incrementar su potencial de fuerza y mejorar posteriormente mediante una adecuada transferencia su altura de salto sin sobrecargas. El sujeto “B” tiene mayor potencial de fuerza, pero relativamente se deja un mayor porcentaje sin manifestar en la ejecución de un salto sin sobrecargas. Por tanto, este deportista debe priorizar el entrenamiento de ejercicios específicos que incidan además en la reutilización de la energía elástica.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Como en cualquier análisis de fuerza manifestada con distintas cargas, es posible en el LJ analizar matemáticamente el porcentaje de fuerza que el deportista deja de manifestar, o déficit de fuerza, al disminuir el nivel de

sobrecarga. Para el LJ, debido a que no se dispone de datos de la fuerza, tradicionalmente el déficit se ha valorado utilizando el **índice de Bosco**, que originariamente relaciona la altura de SJ con una carga equivalente al peso corporal y sin sobrecarga ($\text{índice de Bosco} = SJ_{pc}/SJ_0$). Un incremento del índice de Bosco indica que la altura de salto ha mejorado en mayor medida con una carga equivalente al peso corporal que sin sobrecarga, o en su caso que ha empeorado en menor magnitud. Esto implica un incremento del déficit de fuerza, sugiriendo la necesidad de realizar un entrenamiento con ejercicios específicos para transferir la fuerza de que dispone el deportista a las acciones motrices específicas. Por ejemplo, entre las dos primeras valoraciones del deportista representado en la figura 3.91 se evidencia un incremento del índice de Bosco de 0,34 a 0,40 como consecuencia de una mayor mejora de la altura de salto con cargas elevadas. En cambio, una disminución de este índice determina que sin sobrecargas el deportista es capaz de manifestar un mayor porcentaje de la fuerza manifestada con una carga equivalente a su peso corporal, y, por tanto, es indicativo de un adecuado trabajo de transferencia de la fuerza a las acciones motrices específicas. Éste es el caso de la evolución del índice de Bosco entre la segunda y la tercera valoración del deportista representada en la figura 3.91 (0,40 vs. 0,38). La comparación del índice de Bosco entre diferentes deportistas es lógicamente un criterio adecuado para individualizar el entrenamiento de fuerza. No obstante, es necesario recordar que el índice de Bosco, como cualquier otro marcador del déficit de fuerza, es un valor relativo que no siempre está asociado a un cambio en la misma dirección del rendimiento. Este aspecto queda claramente definido con el cálculo del índice de Bosco realizado en el mencionado deportista, observándose, respecto a los valores iniciales, un incremento del déficit de fuerza en la segunda y la tercera valoración, que estuvo asociado, sin embargo, a un incremento de la altura de salto con cualquier nivel de sobrecarga. Si se desea un análisis matemático más concreto, es posible calcular varios índices relacionando la altura de salto con los distintos niveles de sobrecarga respecto al salto sin sobrecarga o, como se ha realizado en la figura 3.92, estableciendo la pérdida porcentual de la altura de salto al incrementar el nivel de sobrecarga.

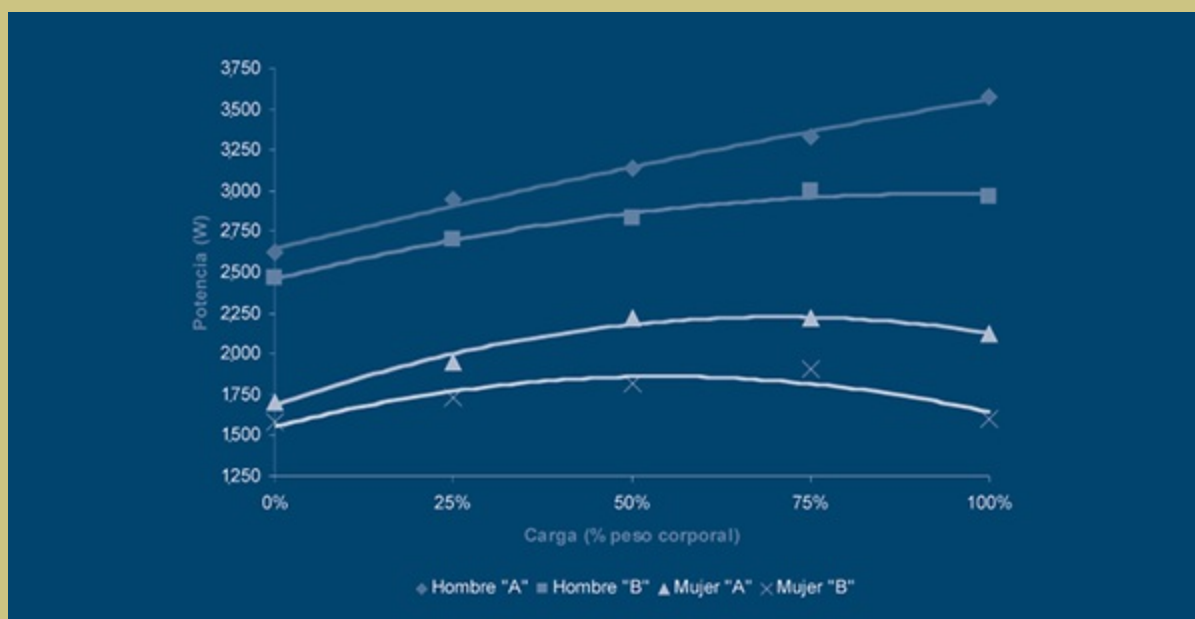


FIGURA 3.93. Evolución de la curva de potencia en un LJ en distintos deportistas. Obsérvese nuevamente, en este caso en la ejecución de saltos con sobrecargas, que la máxima potencia en un determinado ejercicio se obtiene a distinta intensidad relativa. Véase, en consecuencia, la importancia de determinar en cada deportista la intensidad correspondiente a la potencia máxima.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Al igual que en todos los ejercicios, el **nivel de carga en que se manifiesta la máxima potencia** durante la ejecución del LJ difiere entre los deportistas (figura 3.93). El conocimiento individualizado de la carga en la que se obtiene la máxima potencia en el LJ es relevante debido a la importancia que tiene entrenar a la potencia máxima para el rendimiento en acciones motrices específicas, y más si consideramos el efecto añadido de la ejecución de ejercicios balísticos con sobrecargas.

Es de interés el **análisis neuromuscular** propuesto por Vélez (2004) mediante la interrelación de los resultados obtenidos en los distintos tests de salto. Este análisis establece inicialmente una diferenciación entre las manifestaciones activas de la fuerza (asociadas a la fase concéntrica) y las manifestaciones reactivas (asociadas al CEA). Entre las **manifestaciones activas**, la altura del LJ con el 100% del peso corporal se considera el indicador de la máxima fuerza, asociándose su resultado a la capacidad contráctil del músculo; la altura del SJ se considera el indicador de la fuerza

explosiva, asociándose su resultado, además de a la capacidad contráctil, a la capacidad de reclutamiento y sincronización de unidades motrices. En definitiva, los resultados de ambos tests representan un elemento diferenciador de la capacidad del deportista para reclutar a la máxima frecuencia el mayor número de unidades motrices en distintas zonas de la relación fuerza/velocidad. Entre las **manifestaciones reactivas** se considera, como se ha indicado previamente, que la mayor altura de un CMJ respecto a la del SJ se asocia a la reutilización de la energía elástica, y la mayor altura del ABK respecto a la del CMJ, a la utilización de los brazos. Finalmente, en deportistas experimentados, la mayor altura de salto del BDJ con brazos libres respecto a la del ABK se debe a la participación reactiva de las extremidades inferiores (figura 3.94).

Tomando como referencia que la mayor altura de salto se obtiene en el BDJ, y considerando la interrelación especificada entre los distintos saltos, es posible establecer el **porcentaje de contribución de los distintos factores neuromusculares** (figura 3.95) y, en consecuencia, establecer pautas de **reorientación del entrenamiento de fuerza**. Por ejemplo, en la figura 3.96 se observa que la manifestación activa y reactiva de la fuerza es equivalente entre saltadores de altura de ambos sexos. Sin embargo, en las manifestaciones activas, los saltadores muestran menor capacidad de reclutamiento y de sincronización, y en las manifestaciones reactivas, una menor capacidad elástica y refleja, pudiendo, en base a esta relación, beneficiarse en mayor medida del entrenamiento con cargas bajas y ejercicios específicos orientados al desarrollo del CEA. En cambio, las saltadoras muestran una menor capacidad contráctil y de utilización de los brazos, debiendo en consecuencia orientar su entrenamiento al trabajo con intensidad relativa de carga elevada y a ejercicios que impliquen la coordinación intermuscular. En la figura 3.97 se muestra la reorientación del entrenamiento de dos saltadores con un perfil neuromuscular muy diferenciado.



FIGURA 3.94. Factores neuromusculares asociados al rendimiento en los distintos tests de salto. Obsérvese la interesante aportación del autor para determinar el perfil neuromuscular del deportista mediante la valoración exclusiva de saltos. La intervención progresiva en los diferentes saltos establecidos de un mayor número de factores es inherente, si la ejecución técnica es correcta, a una progresiva mayor altura de salto.

Adaptado de Vélez M. Programación del entrenamiento para la capacidad de salto. En: González-Badillo JJ et al. Programación del entrenamiento de fuerza. COE-UAM 2004.

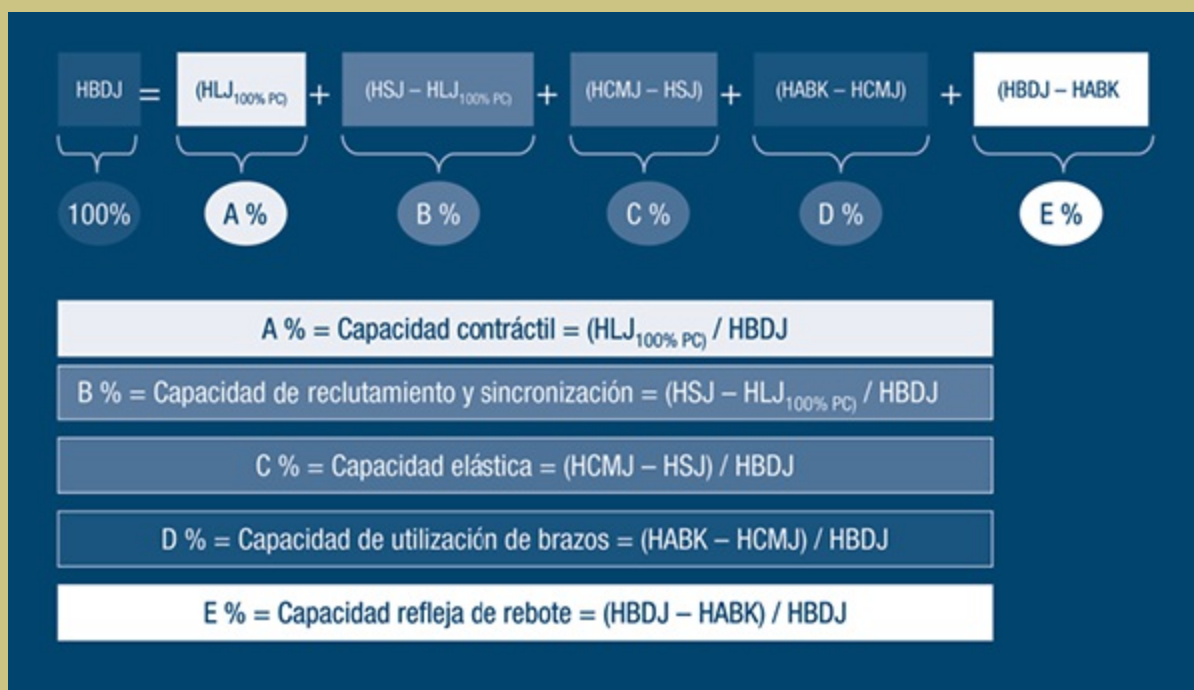


FIGURA 3.95. Cálculo de la participación relativa de los distintos factores neuromusculares en el rendimiento de salto del BDJ. En relación con la figura anterior, respecto a la mayor altura de salto obtenida en un BDJ con la participación de brazos, la relación entre los diferentes factores que progresivamente se van sumando a la manifestación de fuerza en los distintos saltos establecidos permite determinar la influencia de cada factor. En esta figura se dispone de las variables que hay que relacionar para determinar la influencia de cada uno de los factores. La mayoría de estas relaciones ya son conocidas de los análisis realizados previamente.

Adaptado de Vélez M. Programación del entrenamiento para la capacidad de salto. En: González-Badillo JJ et al. Programación del entrenamiento de fuerza. COE-UAM 2004.

Acción motriz de lanzamiento y golpeo

Aunque no se describe habitualmente, en la actualidad también es posible establecer en **lanzamientos** y **golpeos** unos indicadores indirectos de la curva fuerza-velocidad mediante la relación **carga/distancia** y **carga/velocidad**. Como se ha descrito anteriormente, es necesario un análisis fotogramétrico o disponer de radar para determinar la velocidad de lanzamiento o golpeo. De lo contrario, la distancia de lanzamiento o golpeo con distintas cargas puede servir como criterio de orientación del efecto parcial del entrenamiento de fuerza. Sin embargo, hay que considerar que la distancia es dependiente, además de la velocidad que se imprime al implemento, de la ejecución

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

técnica asociada fundamentalmente al ángulo de lanzamiento o golpeo (figura 3.98). En estas acciones motrices, el incremento de la carga respecto al peso reglamentario de competición no debe ser excesivo, puesto que implica una modificación sustancial de la técnica de ejecución. En los lanzamientos es posible establecer la curva carga-velocidad mediante el lanzamiento de balones medicinales de distinto peso (figura 3.98). No obstante, tiene mayor aplicabilidad realizar los lanzamientos y golpesos ejecutando la acción motriz específica de competición, por ejemplo, lanzamiento de peso en atletismo utilizando distintos pesos o la acción motriz de jabalina lanzando pelotas de 0,2 a 1 kg, o, como se representa en la figura 3.99, incrementar ligeramente el peso de la pala en deportes como el softball.

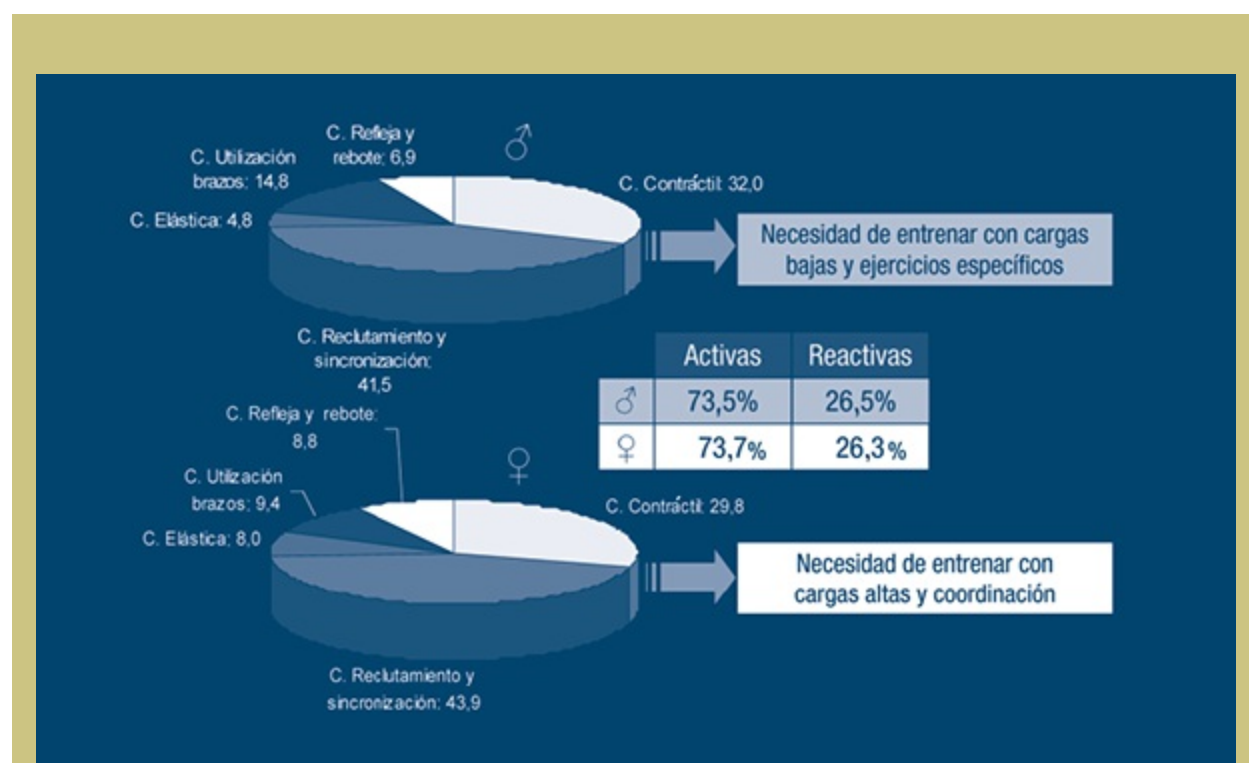


FIGURA 3.96. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza mediante la comparación en saltadores de altura de ambos sexos del perfil neuromuscular determinado con los tests de salto. Este ejemplo es ilustrativo de la aplicabilidad que tiene la determinación del perfil neuromuscular mediante la ejecución de saltos para reorientar el entrenamiento. Compruébese en este caso cómo el porcentaje de influencia de las manifestaciones activas (SJ, LJ100PC), caracterizadas por la ausencia de CEA (SJ) y un CEA de larga duración como consecuencia de la carga elevada (LJ100PC), y reactivas, caracterizadas por la reutilización de la energía elástica (CMJ), la participación de brazos (ABK) y la potenciación del reflejo miotático (BDJ) es equivalente en saltadores de ambos sexos. Sin embargo, en los hombres la participación relativa de la capacidad de reclutamiento y sincronización (reflejo de la relación entre la altura del SJ y la altura del

LJ100PC) en las manifestaciones activas y la participación relativa de la energía elástica y refleja en las manifestaciones reactivas son relativamente menores que en mujeres. Así, los hombres teóricamente se beneficiarán de un entrenamiento que priorice la ejecución de ejercicios con sobrecargas a una intensidad relativa baja y de ejercicios específicos con un CEA corto para incidir en la reutilización de la energía elástica y la potenciación del reflejo miotático. Las mujeres, lógicamente, se beneficiarán, en teoría, en mayor medida de un entrenamiento orientado a la ejecución de ejercicios con sobrecargas a una intensidad relativa elevada y a la ejecución de ejercicios específicos que requieran la coordinación de brazos y piernas en la manifestación de fuerza.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Acción motriz de desplazamiento

Mediante la utilización de lastres, arrastres o con cualquier otro método de incrementar progresivamente el nivel de carga, también podemos determinar la **curva carga-velocidad** en cualquier modalidad que requiera la manifestación de fuerza explosiva en las distintas modalidades de desplazamiento.

La valoración de la curva fuerza-velocidad en movimientos cíclicos puede realizarse también mediante la utilización de **ergómetros específicos**. En este sentido, es posible realizar un test de resistencia a velocidad constante utilizando, por ejemplo, el ergómetro polifuncional Dalmex 240 (Dal Monte y Faina, 1999). Este ergómetro se puede utilizar indiferentemente para las extremidades superiores e inferiores. La ejecución del test consiste en aplicar durante 5 seg la fuerza máxima posible tratando de acelerar el ergómetro, que gira a una velocidad constante predeterminada. La curva fuerza-velocidad se obtiene al repetir la ejecución con distinta velocidad de giro por minuto (rpm), por ejemplo, 200-160-120-80-40 rpm. Como ejemplo se muestra la curva fuerza-velocidad en ciclistas de distintas disciplinas (figura 3.100) y en nadadores (figura 3.101).

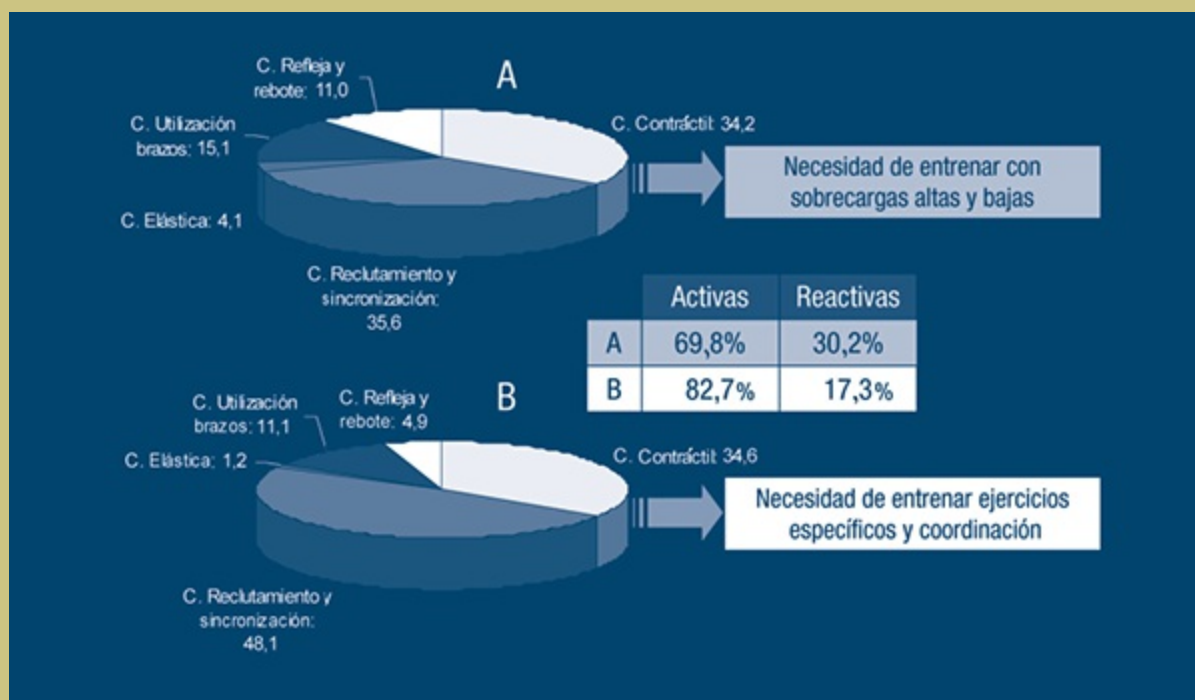


FIGURA 3.97. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza mediante la comparación en dos saltadores de altura del perfil neuromuscular determinado con los tests de salto. Otro ejemplo que determina a dos deportistas con un perfil neuromuscular muy diferente y que ilustra claramente los objetivos que aquéllos deben perseguir en el entrenamiento de fuerza.

Original de los autores con datos de Miguel Vélez Blasco.

Se sabe que el rendimiento en los **desplazamientos** a la máxima intensidad posible depende de distintos **factores neuromusculares** en función del **intervalo de distancia**. En un desplazamiento a la máxima intensidad posible, la velocidad se incrementa progresivamente en la fase de aceleración, asociándose a una disminución del CEA. Por este motivo, se considera que el rendimiento en la parte inicial de la aceleración es más dependiente de la capacidad contráctil del músculo, mientras que en la fase final de la aceleración y la fase de velocidad máxima interviene además la capacidad para reutilizar la energía elástica y la potenciación del reflejo miotático. Si se continúa el esfuerzo, finalmente disminuye la velocidad de desplazamiento debido principalmente al agotamiento de los depósitos de PCr, asociándose esta parte final a la capacidad de resistencia del deportista.

En consecuencia, mediante cualquier sistema que nos permita medir el tiempo que cada deportista necesita para completar las distintas fases de un

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

desplazamiento a la máxima intensidad posible (células fotoeléctricas, videoanálisis) podemos determinar, en función de valores comparativos del propio deportista o de otros deportistas, los parámetros de fuerza con mayor deficiencia relativa y, así, **reorientar el entrenamiento**. Como ejemplo, se muestra a partir del análisis biomecánico realizado en la final masculina de 100 m en el Campeonato del Mundo de atletismo de 1999 la reorientación del entrenamiento de fuerza en tres corredores en función del tiempo que tardaron en recorrer distintos intervalos de distancia (figura 3.102). En la comparación de los tres deportistas se evidencia que el peor rendimiento durante los primeros 30 m corresponde al ganador de la prueba (Greene). De hecho, el segundo clasificado (Surin) obtiene mejor rendimiento que Green en los primeros 60 m, estableciéndose la diferencia entre ambos deportistas exclusivamente en los últimos 40 m, que están asociados fundamentalmente a la capacidad de resistencia (la menor disminución posible de la máxima velocidad alcanzada). De hecho, Green únicamente evidenció disminución de la velocidad máxima en los últimos 10 m. De acuerdo con estos datos, Green podría obtener un mayor rendimiento fundamentalmente mediante la mejora de su capacidad contráctil (entrenamiento con sobrecargas y ejercicios específicos de aceleración). En cambio, Surin se beneficiaría en mayor medida de un trabajo orientado a la fuerza resistencia que le permitiese mantener durante mayor tiempo la velocidad máxima alcanzada y que su disminución fuese la mínima posible. El rendimiento de Harden es relativamente óptimo sólo en los primeros 30 m, y se beneficiaría probablemente de un trabajo orientado a la mejora de la capacidad elástica y reactiva y de la fuerza resistencia.

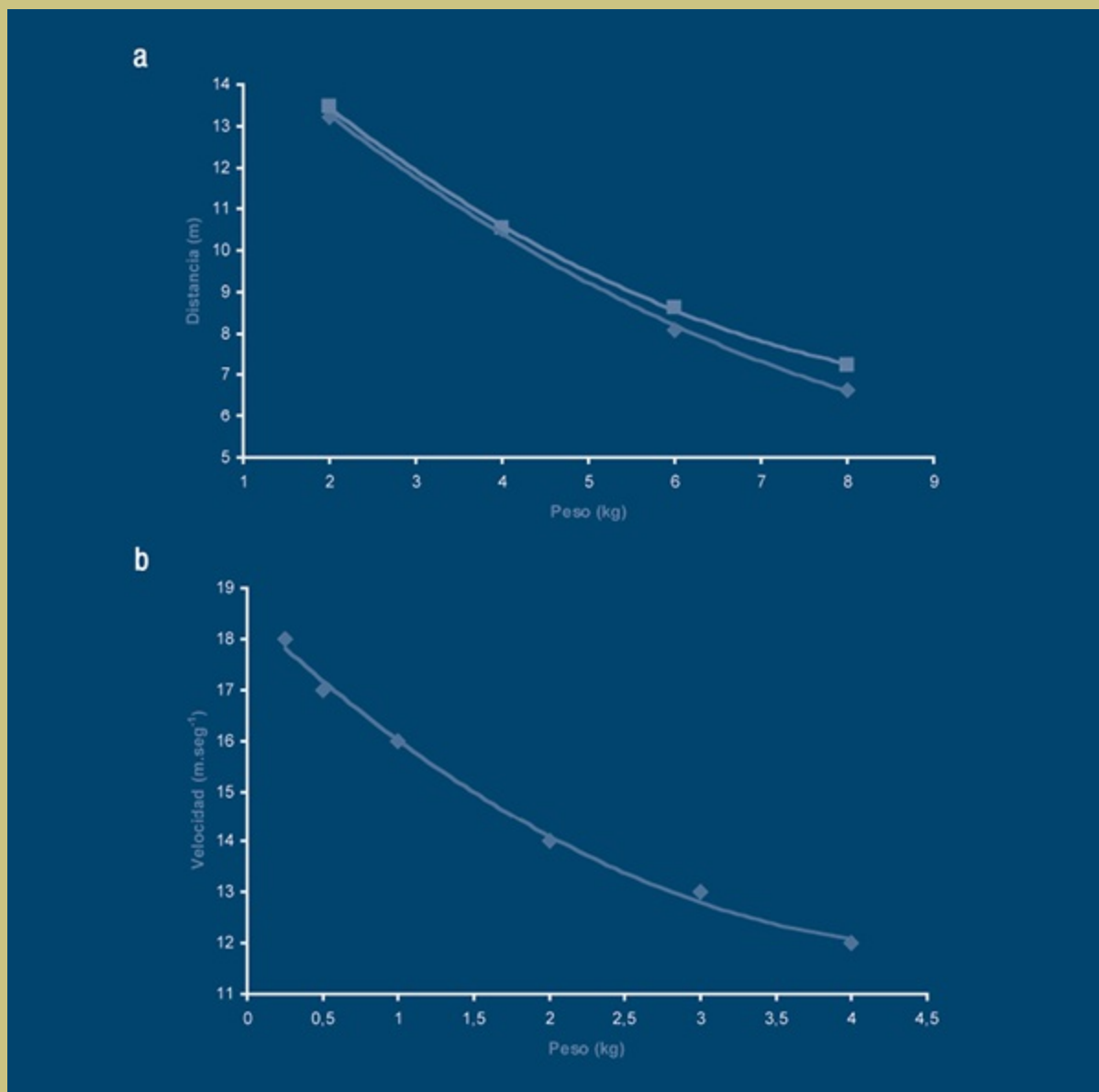


FIGURA 3.98. Ejemplo de la determinación de la curva carga-distancia (a) y carga-velocidad (b) mediante lanzamiento de balones medicinales de distinto peso. Determinando la distancia alcanzada con diferentes pesos se puede conocer los efectos del entrenamiento de fuerza sobre acciones de lanzamiento. Sin embargo, la distancia es también dependiente de otros factores como el ángulo de lanzamiento, y por ello, como se establece en la figura b, es más recomendable la determinación de la velocidad de lanzamiento con un radar.

(a) Adaptado de Padullés JM. Evaluación en los deportes colectivos. *Fundació FC Barcelona 2004*. (b) Adaptado de Viitasalo JT. Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions. En: Winter DA, Norman RW, Wells RP et al. *Biomechanics IX-A. Human Kinetics 1985*.

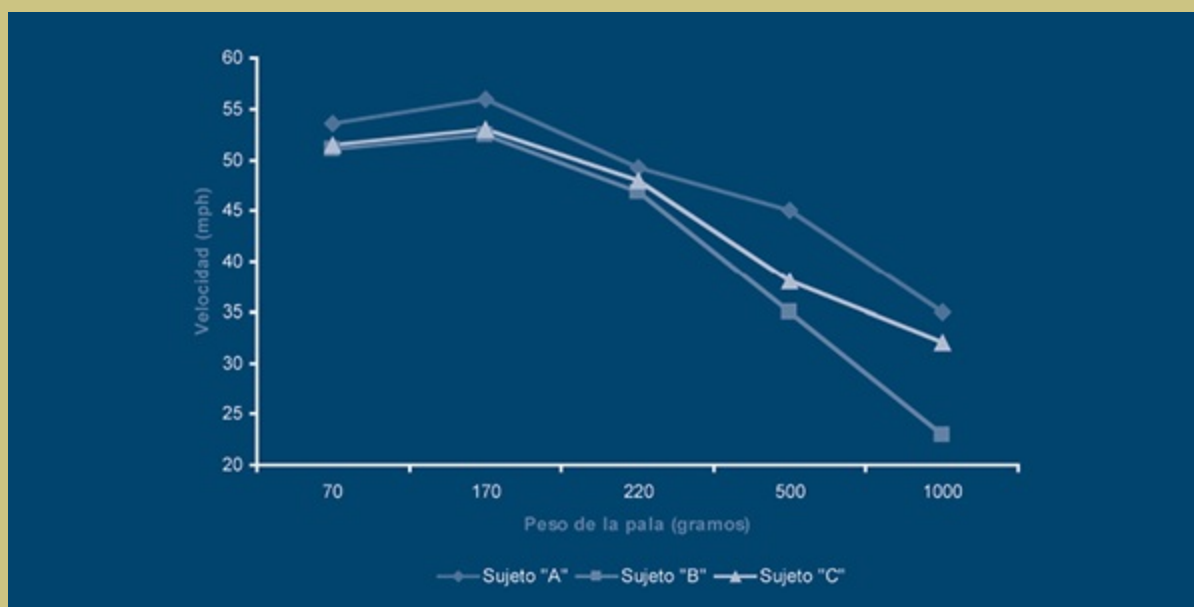


FIGURA 3.99. Ejemplo de la determinación de la curva carga-velocidad en lanzadores de softball utilizando palas de distinto peso. La pala reglamentaria pesa 170 g. También es posible establecer la curva carga-velocidad en lanzamientos que requieren un implemento. Sin embargo, el incremento o la disminución de peso del implemento no deben ser excesivos para no interferir de forma significativa en la ejecución técnica de la acción motriz.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET 1999.

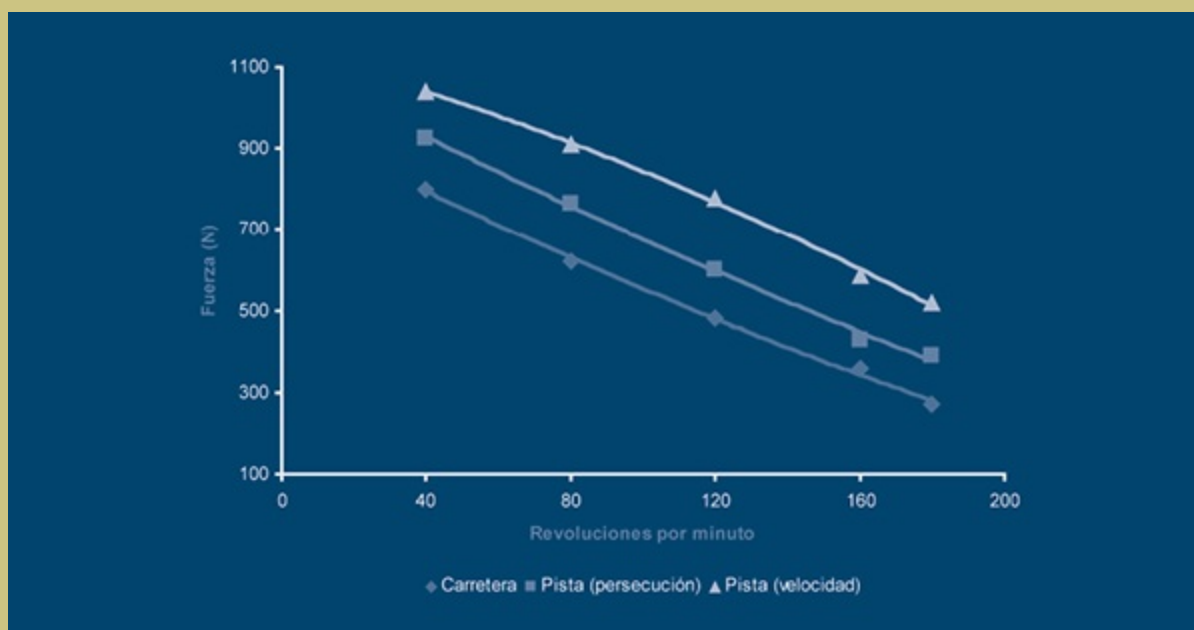


FIGURA 3.100. Ejemplo de la determinación en ciclistas de la curva fuerza-velocidad mediante la aplicación de fuerza a diferente velocidad de giro en un ergómetro isocinético (Dalmex 240). En los desplazamientos, en este caso ciclismo, es posible determinar la curva fuerza-velocidad mediante el control de parámetros en ergómetros específicos.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET 1999.

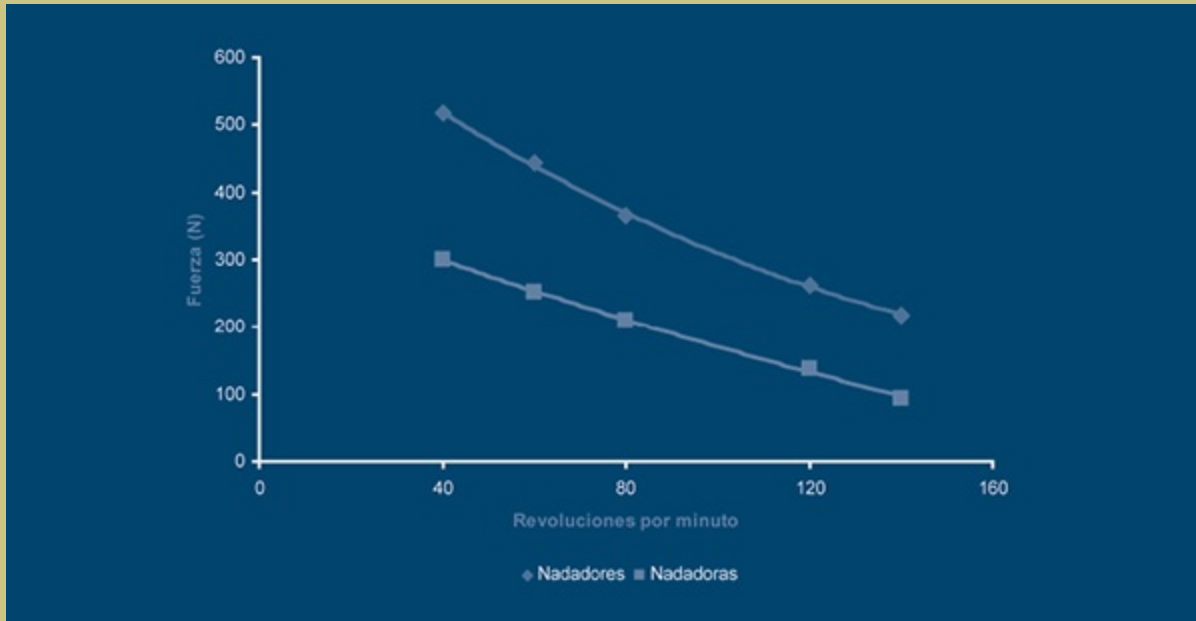


FIGURA 3.101. Ejemplo de la determinación en nadadores de la curva fuerza-velocidad mediante la aplicación de fuerza a diferente velocidad de giro en un ergómetro isocinético (Dalmex 240). Obsérvese otro ejemplo, en este caso en natación, de determinación de la curva fuerza-velocidad con la utilización de ergómetros específicos.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET 1999.

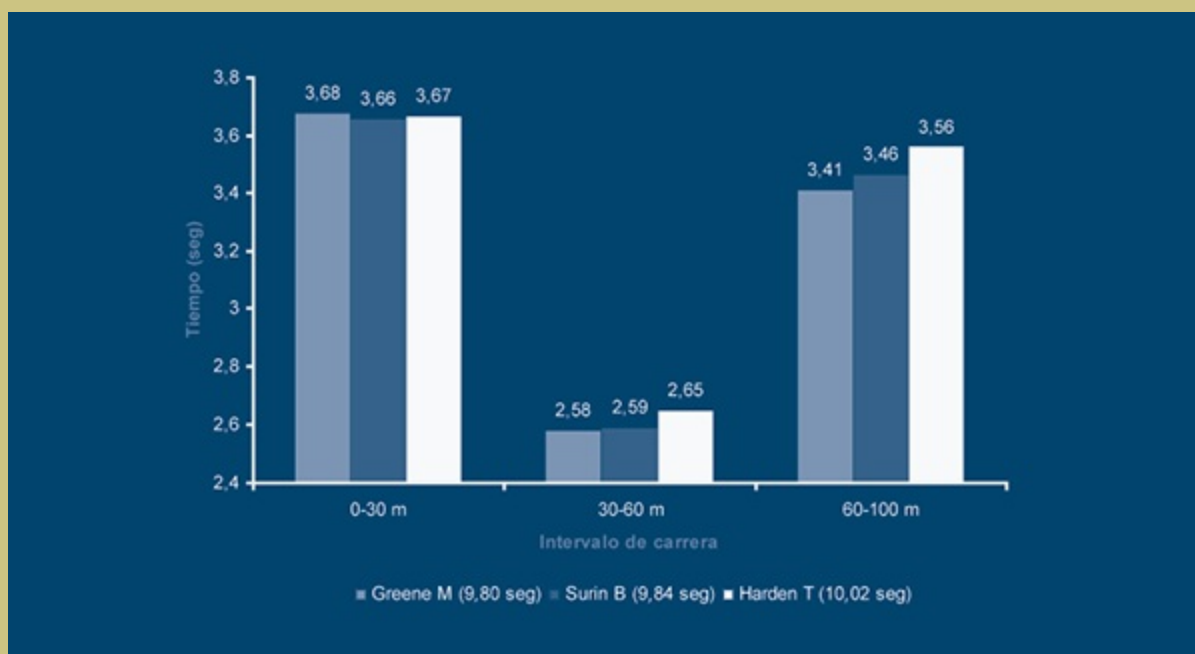


FIGURA 3.102. Ejemplo de reorientación del entrenamiento de fuerza según la determinación de la velocidad de distintas fases de un desplazamiento a máxima intensidad: ejemplo de un análisis sobre una carrera de 100 m. Incluso en los deportistas de elite es posible identificar importantes variaciones de rendimiento en función de las distancias parciales de un desplazamiento. Véase el texto para comprobar que mediante estos datos es posible reorientar de forma individualizada el entrenamiento de fuerza.

Original de los autores con datos de Ferro A et al. XX International Symposium on Biomechanic in Sports. Cáceres 2002.

Un claro ejemplo de la efectividad de la reorientación del entrenamiento de fuerza mediante el análisis de la velocidad en distintos intervalos de distancia de un desplazamiento a la intensidad máxima se refleja en los resultados mostrados previamente en la figura 3.40 sobre el análisis del esprín en kayak (Liow y Hopkins, 2003). En este estudio, los autores mostraron cómo los deportistas que realizaron un entrenamiento con sobrecargas ejecutando las repeticiones a la velocidad máxima de ejecución mejoraron en mayor medida el rendimiento en la fase de velocidad máxima de desplazamiento (7,5 a 15 m), mientras que los que realizaron una ejecución de las repeticiones más lenta tuvieron un mayor rendimiento en la fase de aceleración (0 a 7,5 m).

Síntesis

- El efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva debe ser establecido mediante la valoración directa o indirecta de la fuerza manifestada en las acciones motrices específicas.
- La valoración del efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva en acciones de salto requiere medir la altura o distancia alcanzada. Para los saltos verticales podemos ayudarnos de una plataforma de infrarrojos o de contacto. Simultáneamente, el análisis biomecánico del salto mediante plataforma de fuerza y fotogrametría nos aporta información sobre las causas del rendimiento.
- La valoración del efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva en acciones de lanzamiento y golpeo requiere medir la velocidad del implemento y/o la distancia alcanzada. Para medir la velocidad del implemento podemos ayudarnos de la fotogrametría y del radar. Igualmente, un análisis biomecánico nos aporta información sobre las causas de variación del rendimiento.
- La valoración del efecto final del entrenamiento de fuerza explosiva en acciones de desplazamiento requiere determinar el tiempo empleado y/o la velocidad. Para medir el tiempo y la velocidad podemos ayudarnos de diferentes instrumentos en función de la situación como células fotoeléctricas, láser, sistema *fotofinish* y cronometraje electrónico. El análisis biomecánico simultáneo nos aporta información sobre las causas del rendimiento.
- Los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva deben ser establecidos mediante la valoración directa o indirecta de la fuerza manifestada en ejercicios con sobrecargas y en ejercicios específicos.
- La valoración de los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva y su reorientación mediante ejercicios con sobrecargas puede establecerse determinando el valor de 1RM y las curvas fuerza-carga y potencia-carga mediante un encoder lineal.
- La valoración de los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva y su reorientación en acciones motrices específicas de salto puede establecerse mediante la determinación con una plataforma de contactos o de infrarrojos del perfil neuromuscular del deportista a través de la ejecución de saltos sin sobrecargas (SJ, CMJ, ABK, DJ, RJ) y con sobrecargas (LJ).

- La valoración de los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva y su reorientación en acciones motrices específicas de lanzamiento y golpeo puede establecerse mediante la determinación de la curva carga-velocidad mediante fotogrametría y con radar.
- La valoración de los efectos parciales del entrenamiento de fuerza explosiva y su reorientación en acciones motrices específicas de desplazamientos puede establecerse mediante la valoración de la curva fuerza-velocidad en ergómetros específicos, incrementando la carga en los desplazamientos determinando la relación carga/velocidad, y mediante la determinación del perfil neuromuscular del deportista valorando la velocidad desarrollada en distintas fases del desplazamiento.

Cuestionario de asimilación

1. Si un deportista levanta 90 kg realizando 5RM hasta el fallo muscular, indica cuál es su carga dinámica máxima y su fuerza dinámica máxima.
2. Justifica por qué es conveniente para la mayoría de deportistas calcular la carga máxima dinámica de forma indirecta mediante la determinación previa de 3-5RM.
3. Indica cómo determinarías el efecto final del entrenamiento de fuerza en una acción motriz de desplazamiento, salto y lanzamiento.
4. Establece la justificación física que determina la posibilidad de calcular la fuerza y la potencia de cada una de las repeticiones mediante un sistema encoder que determine el desplazamiento de la barra en el tiempo.
5. Establece las principales limitaciones de reorientar el entrenamiento de fuerza mediante la valoración de la curva fuerza-tiempo en una acción isométrica.
6. Indica qué flexión de las extremidades inferiores se considera adecuada en la valoración de un SJ y un CMJ.
7. Describe qué instrumental es necesario para determinar la fuerza en los tres ejes espaciales.

8. Indica cómo determinarías si un deportista necesita incidir más en el trabajo con sobrecargas o en el trabajo con ejercicios específicos.
9. Establece cómo determinarías la curva fuerza-velocidad en una acción motriz de lanzamiento.
10. Expon las ventajas de una plataforma de infrarrojos sobre una plataforma de contacto.
11. Indica el instrumental requerido para valorar la velocidad de un móvil.
12. Establece cómo reorientarías el entrenamiento de fuerza mediante la medición de tiempos parciales de un desplazamiento.
13. Indica cómo determinarías la potencia máxima durante la ejecución de un LJ.
14. Explica cómo determinarías la potencia máxima durante la ejecución de un DJ.
15. Indica qué métodos conoces para valorar la curva fuerza-velocidad durante la ejecución del ejercicio de prensa de pecho.
16. Explica cómo se calcula la altura de la plataforma óptima para realizar entrenamientos con DJ.
17. Un deportista realiza un salto de 44 y 52 cm, respectivamente, durante la ejecución de un SJ y un CMJ; establece el porcentaje de altura del CMJ que corresponde a la capacidad elástica.

Bibliografía

- Abadie BR, Wentworth M. Prediction of 1-RM strength from a 5-10 repetition submaximal strength test in college-aged females. *J Exerc Physiol* 2000;3:1-5.
- Abdessemed D, Duché P, Hautier PD *et al.* Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *Int J Sports Med* 1999;20:368-73.
- Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M *et al.* Short vs long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal

adaptations in trained men. *J Strength Cond Res* 2005;19:572-82.

Akima H, Takahashi H, Kuno DY *et al.* Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:588-94.

American College of Sports Medicine. Position Stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364-80.

Andersen JL, Schjerling P, Saltin B. Muscle, genes and athletic performance. *Sci Am* 2000;283:48-55. Askling C, Karlson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:244-50.

Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T *et al.* The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2001;86:79-84.

Baker DG, Newton RU. Change in power output across a high-repetition set of bench throws and jump squats in highly trained athletes. *J Strength Cond Res* 2007;21:1007-11.

Baker D, Newton R. Adaptations in upper-body maximal strength and power output resulting from long-term resistance training in experienced strength-power athletes. *J Strength Cond Res* 2006;20:541-6.

Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001;15:92-7.

Bartholomew SA. *Plyometrics and vertical jump training*. Thesis: University of North Carolina. Chapel Hill 1985.

Baumann H, Jäggi M, Solana F *et al.* Exercise training induces transitions of myosin isoform subunits within

histochemically typed human muscle fibres. *Pflugers Arch* 1987;409:49-60.

Behm DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res* 1995;9:264-74.

Behm DG, Sale D. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol* 1993;74:359-68.

Berger R. Effect of varied weight training programs on strength. *Res Q* 1962;33:168-81.

Bieuzen F, Vercruyssen F, Hausswirth C *et al.* Relationship between strength level and pedal rate. *Int J Sports Med* 2007;28:585-9.

Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med* 2005;35:841-51.

Bobbert M. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med* 1990;9:7-22.

Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:339-46.

Bosco C. La fuerza muscular. Aspectos metodológicos. INDE 2000.

Bosco C, Colli R, Bonomi R *et al.* Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:202-8.

Bosco C. Nuove metodologie per la valutazione e la programmazione dell'allenamento. *SdS/Rivista di Cultura Sportiva* 1991;22:13-22.

Bosco C, Tihanyi J, Latteri F *et al.* The effect of fatigue on store and re-use of elastic energy in slow and fast types of

human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1986;128:109-17.

Bosco C, Viitasalo JT, Komi PV *et al.* Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 1982;114:557-65.

Bosco C, Komi PV. Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;41:275-84.

Brown S, Thompson W, Bailey J *et al.* Blood lactate response to weightlifting in endurance and weight trained men. *J Strength Cond Res* 1990;4:122-30.

Brzycki, M. Strength testing: Predicting a one-rep max from reps to fatigue. *J Phys Educ Rec Dance* 1993;64:88-90.

Byrd R, Chandler TJ, Conley MS *et al.* Strength training: single versus multiple sets. *Sports Med* 1999;27:409-16.

Cardoso-Marques MA, González-Badillo JJ. In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *J Strength Cond Res* 2006;20:563-71.

Carolan B, Carafelli E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol* 1992;73:911-7.

Carpinelli RN. Berger in retrospect: effect of varied weight training programmes on strength. *Br J Sports Med* 2002;36:319-24.

Carpinelli RN, Orro RM. Strength training single versus multiple sets. *Sports Med* 1998;26:73-84.

Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Med* 2001;31:829-40.

Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 1968;24:21-32.

- Chamari K, Ahmaidi S, Blum JY *et al.* Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:191-4.
- Channell BT, Barfield JP. Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J Strength Cond Res* 2008;22:1522-7.
- Chiu LZ, Fry AC, Weiss LW *et al.* Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res* 2003;17:671-7.
- Clark RA, Bryant AL, Humphries B. A comparison of force curve profiles between the bench press and ballistic bench throws. *J Strength Cond Res* 2008;22:1755-9.
- Cohen DB, Mont MA, Campbell KR *et al.* Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am J Sports Med* 1994;22:746-50.
- Cometti G. *Fútbol y musculación*. Inde, 1999. Crewther B, Cronin J, Keogh J. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports Med* 2005;35:967-89.
- Croisier JL, Ganteaume S, Ferret JM. Pre-season isokinetic intervention as a preventive strategy for hamstring injury in professional soccer players. *Br J Sports Med* 2005;39:379.
- Cronin J, McNair PJ, Marshall RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res* 2003;17:148-55.
- Cronin J, McNair PJ, Marshall RN. Developing explosive power: a comparison of technique and training. *J Sci Med Sport* 2001;4:59-70.
- Dal Monte A, Faina M. *Valutazione dell'atleta. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione*. UTET, 1999.

- Delecluse C. Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Med* 1997;24:147-56.
- Delecluse C, Van Coppenolle H, Willems E *et al.* Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1203-9.
- Dettmers C, Ridding MC, Stephan KM *et al.* Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces. *J Appl Physiol* 1996;81:596-603.
- Drinkwater EJ, Galna B, McKenna MJ *et al.* Validation of an optical encoder during free weight resistance movements and analysis of bench press sticking point power during fatigue. *J Strength Cond Res* 2007;21:510-7.
- Dugan EL, Doyle TL, Humphries B *et al.* Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *J Strength Cond Res* 2004;18:668-74.
- Ebben WP, Feldmann CR, Dayne A *et al.* Using squat testing to predict training loads for the deadlift, lunge, step-up, and leg extension exercises. *J Strength Cond Res* 2008;22:1947-9.
- Epley B. Poundage chart. En: Lincoln NE. *Boyd Epley Workout*. Body Enterprises, 1985.
- Faina M, Mirri G, Galvani C *et al.* Validazione di una nuova metodica per le valutazione della potenza esplosiva dei muscoli estensori degli arti inferiori: differenza tra un test di salto verticale (jump test) ed un test di spinta alla pressa orizzontale (push test). *Med Sport* 2007;60:133-43.
- Fatouros IG, Jamurtas AZ, Leontsini JD *et al.* Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res* 2000;14:470-6.

- Feigenbaum MS, Pollock ML. Prescription of resistance training for health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:38-45.
- Fernández J, Fernández-García B, Mendez-Villanueva A et al. Activity patterns, lactate profiles and ratings of perceived exertion (RPE) during a professional tennis singles tournament. En: Crespo M, McInerney P, Miley D. *Quality coaching for the future*. 14 ITF worldwide coaches workshop. ITF, 2005.
- Ferro A, Rivera A, Pagola I et al. *A kinematic study of the sprint events at the 1999 World Championships in athletics in Sevilla*. XX International Symposium on Biomechanic in Sports. Cáceres, 2002.
- Fleck SJ, Kraemer WJ. *Designing resistance training programs*. Human Kinetics, 1997.
- Fleck SJ. Bridging the gap: interval training physiological basis. *NCSA J* 1983;40:57-62.
- Folland JP, Mc Cauley TM, Williams AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. *Eur J Appl Physiol* 2008;102:739-45.
- Folland JP, Irish CS, Roberts JC et al. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *Br J Sports Med* 2002;36:370-3.
- Forthomme B, Croisier JL, Ciccarone G et al. Factors correlated with volleyball spike velocity. *Am J Sports Med* 2005;33:1513-9.
- Fowles JR, MacDougall JD, Tarnopolsky MA et al. The effects of acute passive stretch on muscle protein synthesis in humans. *Can J Appl Physiol* 2000;25:165-80.
- French D, Gomez A, Volek J et al. Longitudinal tracking of muscular power changes in NCAA Division I collegiate women gymnasts. *J Strength Cond Res* 2004;18:101-7.

- French DN, Kraemer WJ, Cooke CB. Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 2003;17:678-85.
- Frost DM, Cronin JB, Newton RU. A comparison of the kinematics, kinetics and muscle activity between pneumatic and free weight resistance. *Eur J Appl Physiol* 2008;104:937-56.
- Fry AC. The role of resistance exercise intensity of muscle fibre adaptations. *Sports Med* 2004;34:663-79.
- Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanism and recommendations for training practices. *Sports Med* 2006;36:133-49.
- Galvão DA, Taaffe DR. Single- vs. Multiple-set resistance training: recent developments in the controversy. *J Strength Cond Res* 2004;18:660-7.
- Garhammer J. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: methodology, performance, prediction, and evaluation tests. *J Strength Cond Res* 1993;7:76-9.
- Gentil P, Oliveira E, de Araújo Rocha Júnior V *et al.* Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *J Strength Cond Res* 2007;21:1082-6.
- Girold S, Calmels P, Maurin D *et al.* Assisted and resisted sprint training in swimming. *J Strength Cond Res* 2006;20:547-54.
- Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med* 2005;35:757-77.
- González-Badillo JJ, Izquierdo M, Gorostiaga EM. Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in

competitive weightlifters. *J Strength Cond Res* 2006;20:73-81.

González-Badillo JJ, Gorostiaga EM, Arellano R *et al.* Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res* 2005;19:689-97.

González-Badillo JJ. Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza. *Infocoes* 2000;5(2):3-14.

Gorostiaga EM, Granados C, Ibáñez J *et al.* Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:357-66.

Haaland E, Hoff J. Non-dominant leg training improves the bilateral motor performance of soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:179-84.

Haff GG, Carlock JM, Hartman MJ *et al.* Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women Olympic weightlifters. *J Strength Cond Res* 2005;19:741-8.

Haff GG, Whitley A, Potteiger JA. A brief review: explosive exercises and sports performance. *Strength Cond J* 2001;23:13-20.

Haff GG, Stone MH, O'Bryant H *et al.* Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 1997;11:269-72.

Hakkinen K, Alen M, Kallinen M *et al.* Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, de-training and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:51-62.

Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M *et al.* Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 1998;84:1341-9.

Häkkinen K, Kallinen M. Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1994;34:117-24.

Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 1993;74:882-7.

Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M *et al.* Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 1988;65:2406-12.

Häkkinen K, Alén M, Komi PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 1985;125:573-85.

Hakkinen K, Komi PV. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15:455-60.

Hamada T, Sale DG, McDougall JD. Postactivation potentiation in endurance trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:403-11.

Hansen EA, Raastad T, Hallén J. Strength training reduces freely chosen pedal rate during submaximal cycling. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:419-26.

Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS *et al.* Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J Strength Cond Res* 2000;14:14-20.

Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG. Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads. *J Strength*

Cond Res 2007;21:1260-4.

Harris RC, Edwards RHT, Hultman E *et al.* The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch* 1976;367:137-47.

Harrison AJ, Keane SP, Coggan J. Force-velocity and stretch-shortening cycle function in sprint and endurance athletes. *J Strength Cond Res* 2004;18:473-9.

Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy population. *Sports Med* 2001;31:953-64.

Henchoz Y, Malatesta D, Gremion G *et al.* Effects of the transition time between muscle-tendon stretch and shortening on mechanical efficiency. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:665-71.

Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol* 1965a;28:560-80.

Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *J Neurophysiol* 1965b;28:599-620.

Hibbs AE, Thompson KG, French D *et al.* Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med* 2008;38:995-1008.

Hickson RC, Hidaka K, Foster C *et al.* Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 1994;76:663-70.

Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM *et al.* Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 1988;65:2285-90.

Hides JA, Fan T, Stanton WR *et al.* Psoas and quadratus lumborum muscle asymmetry among elite Australian

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

football league players. *Br J Sports Med* 2008 Sep 18.
[Epub ahead of print.]

Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H *et al.* Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987; 56:253-9.

Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12:288-95.

Hoff J, Almasbak B. The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *J Strength Cond Res* 1995;9:255-8.

Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD *et al.* Effects of maximal squat exercise testing on vertical jump performance in American college football players. *J Sports Sci Med* 2007;6:149-50.

Hoffman JR, Cooper J, Wendell M *et al.* Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J Strength Cond Res* 2004;18:129-35.

Hori N, Newton RU, Andrews WA *et al.* Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *J Strength Cond Res* 2008;22:412-8.

Hunter GR, Hilyer J, Forster MA. Changes in fitness during 4 years of intercollegiate basketball. *J Strength Cond Res* 1993;7:26-9.

Iga J, George K, Lees A *et al.* Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19:714-9.

Ikai M, Fukunaga T. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

ultrasonic measurement. *Int Z Angew Physiol* 1968;26:26-32.

Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C *et al.* Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *Br J Sports Med* 2008;42:42-6.

Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K *et al.* Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetition to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med* 2006a;27:718-24.

Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ *et al.* Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* 2006b;100:1647-56.

Izquierdo M, Häkkinen K, Gonzalez Badillo JJ *et al.* Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:264-71.

Izquierdo-Gabarren M, González de Txabarri Expósito R, García-Pallarés J *et al.* Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc* 2009 Dec 9. [Epub ahead of print.]

Jeffreys I. Developing a progressive core stability program. *Strength Cond J* 2002;24:65-6.

Jimenez A y De Paz JA. Application of the 1RM estimation formulas from the RM in bench press in a group of physically active middle-aged women. *JHSE* 2008;3(1):10-22.

Jones K, Bishop P, Hunter G *et al.* The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J Strength Cond Res*

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

2001;15:349-56.

Jones K, Hunter G, Fleisig G *et al.* The effects of compensatory acceleration on upper-body strength and power in collegiate football players. *J Strength Cond Res* 1999;13:99-105.

Kawamori N, Haff GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 2004;18:675-84.

Kelly CM, Burnett AF, Newton MJ. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. *J Strength Cond Res* 2008;22:396-403.

Kelly SB, Brown LE, Coburn JW *et al.* The effect of single versus multiple sets on strength. *J Strength Cond Res* 2007;21:1003-6.

Keogh JW, Wilson GJ, Weatherby RP. A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *J Strength Cond Res* 1999;13:247-58.

Kilduff LP, Owen N, Bevan H *et al.* Influence of recovery time on post-activation in professional rugby players. *J Sports Sci* 2008;26:795-802.

Knight CA, Kamen G. Relationships between voluntary activation and motor unit firing rate during maximal voluntary contractions in young and older adults. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:625-30.

Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1978;10:261-5.

Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C *et al.* The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 2005;19:369-75.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:674-88.
- Kraemer WJ, Nindl BC, Ratamess NA *et al.* Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:697-708.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E *et al.* Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364-80.
- Kraemer WJ, Piorkowski PA, Bush JA. The effects of NCAA Division 1 intercollegiate competitive tennis match play on recovery of physical performance in women. *J Strength Cond Res* 2000;14:265-72.
- Kraemer WJ. A series of studies-the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 1997;11:131-42.
- Kryöläinen H, Komi PV. The function of neuromuscular system in maximal stretch-shortening cycle exercise: comparison between power- and endurance-trained athletes. *J Electromyogr Kinesiol* 1995;5:1525.
- Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y *et al.* Elasticity of the tendon structures of the lower limbs in sprinters. *Acta Physiol Scand* 2000;168:327-35.
- Lachowetz T, Evon J, Pastiglione J. The effect of an upper body strength program on intercollegiate baseball throwing velocity. *J Strength Cond Res* 1998;12:116-9.
- Landers J. Maximum based on reps. *Natl Strength Cond Assoc J* 1985;6:60-1.
- Lawton TW, Cronin JB, Lindsell RP. Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res* 2006;20:172-6.
- Leetun DT, Ireland ML, Willson JD *et al.* Core stability

measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:926-34

Legaz-Arrese A, Reverter-Masía J, Munguía-Izquierdo D et al. Analysis of resistance training based on the maintenance of mechanical power. *J Sports Med Phys Fitness* 2007;47:427-36.

Lehance C, Binet J, Bury T et al. Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19:243-51.

Little T, Williams AG. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2005;19:76-8.

Liow DK, Hopkins WG. Velocity specificity of weight training for kayak sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1232-7.

Lombardi VP. *Beginning weight training: the safe and effective way*. Wm. C. Brown Company Publishers, 1989.

Markovic G, Dizdar D, Jaric S. Evaluations of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46:215-20.

Matuszak ME, Fry AC, Weiss LW et al. Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. *J Strength Cond Res* 2003;17:634-7.

Mayhew JL, Ball TE, Arnold MD et al. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J Appl Sport Sci Res* 1992;6:200-6.

Mazur LJ, Yetman RJ, Risser WL. Weight-training injuries. Common injuries and preventative methods. *Sports Med* 1993;16:57-63.

McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A et al. The effect of

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res* 2002;16:75-82.

Merni F, Carbonaro G. Test motori per la valutazione dei Giovanni dagli 11 ai 14 anni. En: AA.VV. *Nuovi orientamenti per l'avviamento dei giovani allo sport*. Società Stampa Sportiva, 1984.

Mikkola JS, Rusko HK, Nummela AT *et al.* Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res* 2007a;21:613-20.

Mikkola JS, Rusko HK, Nummela AT *et al.* Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med* 2007b;28:602-11.

Millet G, Jaouen B, Borrani F *et al.* Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO_2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1351-9.

Mirkov D, Nedeljkovic A, Kukolj M *et al.* Evaluation of the reliability of soccer-specific field tests. *J Strength Cond Res* 2008;22:1046-50.

Mookerjee S, Ratamess NA. Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *J Strength Cond Res* 1999;13:76-81.

Murphy AJ, Wilson GJ. Poor correlations between isometric test and dynamic performance: Relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol* 1996;73:353-7.

Muun J, Herbert RD, Hancock MJ *et al.* Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction

- speed. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1622-6.
- Nedeljkovic A, Mirkov DM, Bozic P *et al.* Tests of muscle power output: the role of body size. *Int J Sports Med* 2009;30:100-6.
- Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:323-30.
- Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K *et al.* Kinematics, kinetics and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech* 1996;12:3143.
- Newton RE, McEvoy KP. Baseball throwing velocity: A comparison of medicine ball training and weight training. *J Strength Cond Res* 1994;8:198-203.
- Noffal GJ. Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and nonthrowers. *Am J Sports Med* 2003;31:537-41.
- O'Connor B, Simmons J, O'Shea P. *Weight training today*. West Publishing, 1989.
- Olmo MF, Reimunde P, Viana O *et al.* Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:722-8.
- Paavolainen L, Häkkinen K, Hämmäläinen I *et al.* Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 1999;86:1527-33.
- Padullés JM. *Evaluación en los deportes colectivos*. Fundació FC Barcelona, 2004.
- Palmieri G. Weight training and repetition speed. *Natl Strength Cond Assoc J* 1987;9:36-8.
- Paradisis GP, Cooke CB. The effects of sprint running training on sloping surfaces. *J Strength Cond Res* 2006;20:767-77.

- Pereira MI, Gomes PS. Movement velocity in resistance training. *Sports Med* 2003;33:427-38.
- Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res* 2005;19:950-8.
- Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA. Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 2004;18:377-82.
- Platonov VN, Bulatova MM. *La preparación física*. Paidotribo, 1992.
- Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL *et al*. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 1994;76:1675-81.
- Poliquin CH. Applied strength training (par 1). *Sport Coach* 1992;Jul-Sep:25-8.
- Ratamess NA, Falvo MJ, Mangine GT *et al*. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:1-17.
- Reverter-Masía J, Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D *et al*. A profile of the resistance training practices of elite Spanish club teams. *J Strength Cond Res* 2009;23:1537-47.
- Reynolds, JM, Gordon TJ, Robergs RA. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. *J Strength Cond Res* 2006;20:584-92.
- Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN *et al*. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:456-64.
- Rixon KP, Lamont HS, Bemben MG. Influence of type of

muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J Strength Cond Res* 2007;21:500-5.

Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 2009 Nov 9. [Epub ahead of print.]

Sáez de Villarreal E, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur J Appl Physiol* 2007; 100:393-401.

Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20(5 Suppl):S135-45.

Sanborn K, Boros R, Hruby J *et al.* Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *J Strength Cond Res* 2000;14:328-31.

Saunders PU, Telford RD, Pyne DB *et al.* Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 2006;20:947-54.

Schade F, Brüggemann GP, Isolehto J *et al.* Pole vault at the World Championships in athletics Helsinki 2005. IAAF: www.iaafacademy.com.

Sforzo GA, Touey PR. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res* 1996;10:20-4.

Sharp RL, Troup JP, Costill DL. Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:53-6.

Sheppard JM, Cormack S, Taylor KL *et al.* Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

trained athletes: the incremental load power profile. *J Strength Cond Res* 2008;22:1320-6.

Shimano T, Kraemer WJ, Spiering BA *et al.* Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *J Strength Cond Res* 2006;20:819-23.

Siegel JA, Gilders RM, Staron RS *et al.* Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *J Strength Cond Res* 2002;16:173-8.

Smith RC, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur J Appl Physiol* 1995;71:332-6.

Spencer M, Bishop D, Dawson B *et al.* Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med* 2005;35:1025-44.

Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:1-7.

Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ *et al.* Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 1994;76:1247-55.

Stølen T, Chamari K, Castagna C *et al.* Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005;35:501-36.

Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L *et al.* Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 2003;17:140-7.

Stone MH. Position/policy statement and literature review for the national strength and conditioning association on explosive exercise. *N Strength Cond J* 1993;15(3):7-15.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Taina F, Grehaigne JF, Cometti G. The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performance. En: Reilly T, Clarcks J, Stibbe A. *Science and football II*. TF-Taylor, 1992.
- Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res* 1999;13:289-304.
- Thomas GA, Kraemer WJ, Spiering BA *et al*. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *J Strength Cond Res* 2007;21:336-42.
- Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med* 2009;39:147-66.
- Valadés D, Palao JM, Femia P *et al*. Validez y fiabilidad del radar para el control de la velocidad del remate en voleibol. *CCD* 2007;6(2):131-8.
- Velez M. Programación del entrenamiento para la capacidad de salto. En: González Badillo JJ, Velez M, Martínez JL. *Programación del entrenamiento de fuerza*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003.
- Vescovi JD, McGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci* 2008;26:97-107.
- Viitasalo JT. Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions. En: Winter DA, Norman RW, Wells RP *et al*. *Biomechanics IX-A*. Human Kinetics, 1985.
- Vittori C. The training of the power in the sprint. *Athle-ticastudi* 1990;1(2):3-25.
- Wedderkopp N, Kaltoft M, Lundgaard B *et al*. Prevention of injuries in young female players in European team

handball. A prospective intervention study. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9:41-7.

Weir JP, Wagner LL, Housh TJ. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J Strength Cond Res* 1994;8:58-60.

Wilks R. Limitation in applied strength training research: Current dilemmas and recommendations for future studies. *Strength Xond Coach* 1995;3:17-21.

Willardson JM, Burkett LN. The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions. *J Strength Cond Res* 2006a;20:400-3.

Willardson JM, Burkett LN. The effect of rest interval length on bench press performance with heavy vs. light loads. *J Strength Cond Res* 2006b; 20:396-9.

Willardson JM, Burkett LN. A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res* 2005;19:23-6.

Wilson GJ, Murphy AJ. Strength diagnosis: The use of test data to determine specific strength training. *J Sports Sci* 1996;14:167-73.

Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ *et al.* The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:1279-86.

Winchester JB, McBride JM, Maher MA *et al.* Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *J Strength Cond Res* 2008;22:1728-34.

Yamamoto LM, Klau JF, Casa DJ *et al.* The effects of resistance training on road cycling performance among highly trained cyclists: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2010;24:560-6.

Yamamoto LM, Lopez RM, Klau JF *et al.* The effects of

resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2008;22:2036-44.

Young WB, Benton D, Duthie, G *et al.* Resistance training for short sprints and maximum speed sprints. *Strength Cond J* 2001;23:7-13.

Young WB, Bilby GE. The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res* 1993;7:172-8.

Zafeiridis A, Saraslanidis P, Manou V, *et al.* The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:284-90.

Zatsiorsky VM. *Science and practice of strength training.* Human Kinetics, 1995.

capítulo 4

Optimización de la resistencia

El capítulo 4 tiene por objeto capacitar al lector para adecuar la metodología del entrenamiento de resistencia al contexto en que manifiesta esta capacidad en competición. El apartado 1, *“Fundamentos básicos de la resistencia”*, define la resistencia y su asociación con la fatiga, y justifica la necesidad de diferenciar entre esfuerzos continuos ejecutados a intensidad constante, variable e intermitente para plantear una metodología de entrenamiento diferenciada. El apartado 2, *“Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad constante”*, aborda los esfuerzos ejecutados a intensidad constante, estableciendo los fundamentos fisiológicos que determinan los factores de rendimiento requeridos en función de la duración del esfuerzo, los métodos de entrenamiento más apropiados y su aplicación. Similar análisis se realiza en el apartado 3, *“Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad variable”*, para los esfuerzos ejecutados a intensidad variable, consideran -do la necesidad de un análisis específico para cada modalidad deportiva y tomando como ejemplos de referencia la variación de intensidad de los esfuerzos, cuya ejecución tradicionalmente se considera a intensidad constante, y las variaciones de intensidad del ciclismo de ruta y de las competiciones de BTT. Se abordan los esfuerzos intermitentes en el apartado 4 *“Resistencia en los esfuerzos intermitentes”*, considerando que el análisis motor de la competición puede aportar información más útil que el análisis fisiológico. En función de este análisis se establece una metodología de entrenamiento contextualizada y diferenciada de la mostrada en los esfuerzos continuos. El apartado 5 *“Entrenamiento en altitud moderada”*, muestra las diferentes modalidades de entrenar y vivir en altura como una estrategia metodológica que permite a algunos deportistas obtener adaptaciones superiores al entrenamiento tradicional y mejorar así su prestación deportiva. Finalmente, en el

apartado 6, “*Evaluación y control de la resistencia*”, se analizan las principales pruebas que evalúan factores asociados a la resistencia, adaptando su aplicabilidad a la duración del esfuerzo y a las características de las modalidades deportivas.

1

Fundamentos básicos de la resistencia

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer cuándo una modalidad deportiva requiere el desarrollo de la resistencia.
- Conocer la asociación entre la resistencia y la fatiga.
- Conocer los factores generales que determinan la capacidad de resistencia de un sujeto y su vinculación con los objetivos de entrenamiento asociados a la fatiga.
- Comprender la necesidad de diferenciar el estudio de la resistencia en función de las características del tipo de esfuerzo requerido en competición.

Índice

1.1. Conceptualización de la resistencia

1.2. Clasificación de la resistencia

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Para estudiar la resistencia es requisito básico definir su concepto para determinar las modalidades deportivas que requieren su desarrollo, establecer los factores generales que determinan la capacidad de resistencia de un deportista y describir sus objetivos de entrenamiento. Los factores específicos que son objetivo del entrenamiento de resistencia difieren sustancialmente entre las distintas modalidades deportivas fundamentalmente por la duración y el tipo de esfuerzo realizado. Por ello, es también objetivo de este apartado establecer una clasificación de la resistencia que considere su manifestación diferencial entre las modalidades deportivas y que justifique la distribución de los contenidos para su estudio.

1.1. Conceptualización de la resistencia

La **resistencia** se define habitualmente como la capacidad psicofísica para resistir la **fatiga aguda**. Es objetivo también de la resistencia la capacidad de **recuperación después de los esfuerzos** tanto en el contexto de una sesión de entrenamiento o competición como entre diferentes sesiones o días de competición.

En el contexto de las distintas modalidades deportivas y/o acciones motrices se requiere la capacidad de resistencia cuando el deportista no es capaz de manifestar durante la ejecución de esfuerzos continuos o intermitentes la fuerza máxima por unidad de tiempo. Así, es necesaria la capacidad de resistencia en todos los **esfuerzos continuos** ejecutados a la máxima intensidad posible de una duración superior a 6 seg debido a que no se puede mantener la velocidad máxima de desplazamiento (Hirvonen *et al.*, 1987). En estos esfuerzos, el objetivo de la resistencia es mantener la velocidad más elevada posible para la duración o distancia de esfuerzo establecida. En los **esfuerzos intermitentes**, como son los deportes de equipo o deportes de combate, aunque en un contexto motor y metabólico diferente, también es objetivo de la resistencia la menor disminución en la aplicación de fuerza.

Como se ha especificado en el capítulo 2, la **fatiga aguda** es un mecanismo de la adaptación inmediata que cumple la función de que el desequilibrio inducido en los distintos sistemas del organismo al realizar un esfuerzo no sea de tal magnitud que provoque un deterioro orgánico irreversible (figura 4.1).

En relación con la fatiga, la **capacidad de resistencia** depende globalmente de tres factores: (i) el potencial del deportista; (ii) la economía de esfuerzo, y (iii) la tolerancia al desequilibrio orgánico (figura 4.2). El **potencial del deportista** se refiere básicamente a sus limitaciones fisiológicas para realizar el esfuerzo, por ejemplo, la potencia y la capacidad de las distintas vías metabólicas, la capacidad de termorregulación, la capacidad de eliminación de productos derivados del metabolismo, etc. La **economía de esfuerzo** determina en qué medida el deportista gestiona de forma eficaz el potencial de que dispone. La mejora con el entrenamiento del potencial del deportista y/o de su economía de esfuerzo va a permitir que el mismo grado de **fatiga aguda** se produzca después de un esfuerzo de mayor duración y/o intensidad. La **tolerancia al desequilibrio orgánico** determina en qué grado el deportista es capaz de continuar realizando el esfuerzo para una misma alteración de los parámetros determinantes de la homeostasis. La mejora fisiológica y psicológica de la tolerancia con el entrenamiento va a permitir que para un equivalente desequilibrio orgánico (p. ej. misma depleción de los depósitos energéticos y mismas condiciones de acidez muscular, desequilibrio térmico e hidroelectrolítico) se produzca una menor inhibición de la contracción muscular. En consecuencia, el deportista podrá incrementar la duración y/o la intensidad de esfuerzo al desplazarse a niveles superiores los indicadores de la ruptura de la homeostasis que determinan la fase de alarma asociada a la **fatiga aguda**.

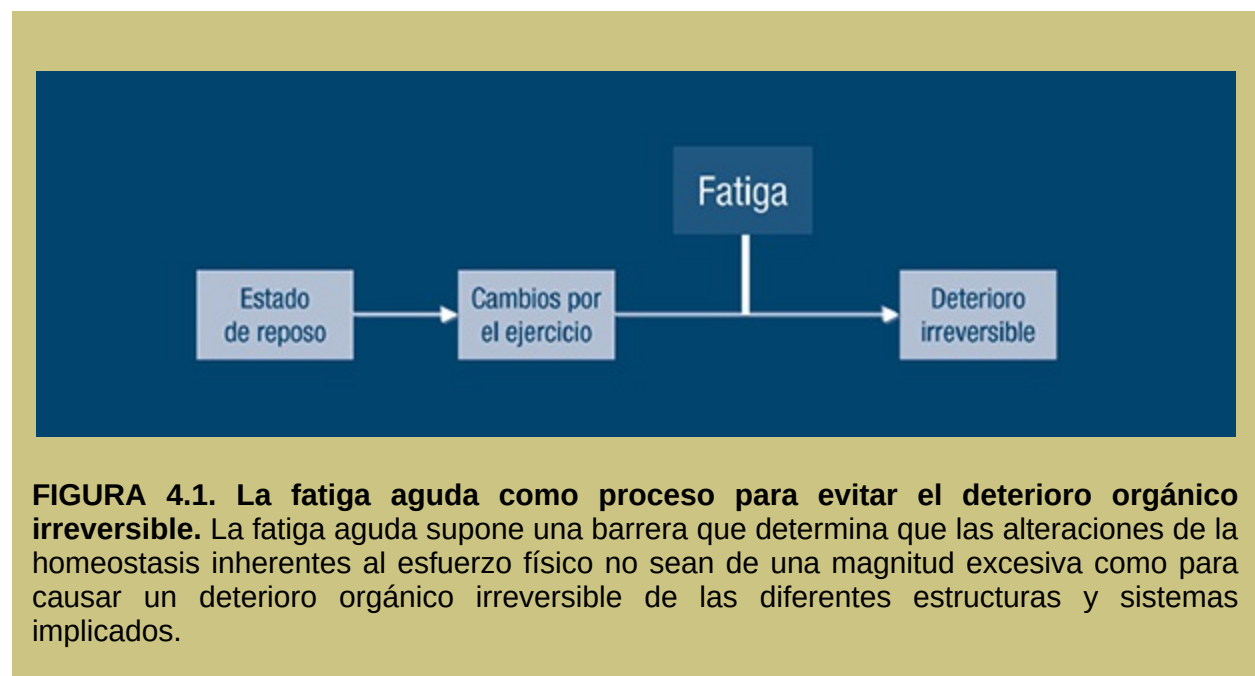


FIGURA 4.1. La fatiga aguda como proceso para evitar el deterioro orgánico irreversible. La fatiga aguda supone una barrera que determina que las alteraciones de la homeostasis inherentes al esfuerzo físico no sean de una magnitud excesiva como para causar un deterioro orgánico irreversible de las diferentes estructuras y sistemas implicados.

La mejora de cualquiera de los tres factores generales asociados a la **fatiga aguda** va a influir notablemente en el rendimiento de los factores motores e informacionales. La fatiga afecta la coordinación neuromuscular dificultando la ejecución de las acciones motrices e incrementando el gasto energético. La fatiga también dificulta los mecanismos de percepción de la información, los procesos de decisión y determinados parámetros psicológicos como la concentración. En la mayoría de las modalidades deportivas, los factores motores e informacionales deben manifestarse con mayor o menor grado de fatiga. De poco sirve, por tanto, que el deportista tenga un elevado potencial de estos factores si no es capaz de manifestarlo en condiciones de fatiga. Consiguientemente, es objetivo del entrenamiento de resistencia desarrollar la **resistencia motriz, informacional y psicológica**.

1.2. Clasificación de la resistencia

La **capacidad de resistencia** se ha subdividido en función de diversos criterios: el volumen de los músculos implicados (resistencia general-local), la forma de trabajo (resistencia dinámica-estática), el metabolismo (resistencia aeróbica-anaeróbica) y la especificidad (resistencia básica-específica) en relación con otras capacidades (fuerza resistencia, resistencia a la fuerza velocidad resistencia), y en función de la duración del esfuerzo (resistencia de corta, media y larga duración) (Navarro y Manso, 2003).



FIGURA 4.2. Factores generales asociados a la fatiga aguda que determinan una mayor capacidad de resistencia. En relación con la fatiga, un deportista con mayor potencial en los diferentes sistemas implicados en el esfuerzo y/o con mejor economía de esfuerzo puede realizar con el mismo grado de fatiga un esfuerzo de mayor duración y/o mayor intensidad. También se puede ejecutar un esfuerzo de mayor duración y/o intensidad si el deportista consigue desarrollar un mayor grado de tolerancia al desequilibrio orgánico, lo que es inherente a un grado de fatiga más próximo al deterioro orgánico irreversible.

Original del autor.

La clasificación con mayor aplicación fue propuesta por Zintl (1991) y adaptada por diferentes autores como Navarro y Manso (2003), diferenciando la capacidad de resistencia en función de la duración del esfuerzo. Esta estructuración ha supuesto una gran aportación para la comprensión didáctica de la resistencia. Los conocimientos actuales sobre la fisiología aplicada al rendimiento deportivo sugieren estructurar la capacidad de resistencia en límites temporales de menor duración que los tradicionalmente establecidos para la resistencia de corta, media y larga duración. El análisis de los parámetros fisiológicos y mecánicos determinantes del rendimiento en función de la **duración del esfuerzo** es esencial para el estudio de la **resistencia en los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante** (p. ej., carreras de atletismo, natación, remo, etc.).

Es necesario considerar que en muchas modalidades deportivas el esfuerzo

no se ejecuta a intensidad constante. Para estas modalidades se requiere un análisis en función del **tipo de esfuerzo** considerando las variaciones de intensidad. Por ello, en este capítulo se diferencia el estudio de la **resistencia en los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable** (p. ej., ciclismo de ruta, competiciones de BTT, esquí de fondo, etc.) y la **resistencia en los esfuerzos intermitentes** (p. ej., deportes de equipo, de combate, de raqueta, etc.).

Síntesis

- La resistencia es determinante del rendimiento cuando en una modalidad deportiva el atleta no puede manifestar sus niveles de fuerza explosiva.
- La capacidad de resistencia es inherente a la fatiga aguda. Una mejora con el entrenamiento del potencial del deportista y/o de su economía de esfuerzo permitirá que el mismo grado de fatiga aguda se origine después de un esfuerzo de mayor duración y/o intensidad. Esta mejora del rendimiento también puede objetivarse incrementando la tolerancia al desequilibrio orgánico debido a que permite elevar los indicadores de fatiga a niveles superiores.
- Cualquier proceso que permita reducir el nivel de fatiga o desplazarlo a niveles superiores de duración y/o intensidad de esfuerzo es determinante para el rendimiento motor e informacional.
- La resistencia requerida en las distintas modalidades deportivas es dependiente de la duración del esfuerzo (esfuerzos continuos de distinta duración) y del tipo de esfuerzo (esfuerzos continuos ejecutados a intensidad constante o variable y esfuerzos intermitentes).

Cuestionario de asimilación

1. Explica cuándo se considera que una modalidad deportiva requiere el desarrollo de la resistencia.
2. Explica con un ejemplo las diferencias del potencial de resistencia de dos deportistas.

- 3.** Indica con un ejemplo las diferencias de la capacidad de resistencia de dos deportistas que tienen el mismo potencial, pero diferente economía de esfuerzo.
- 4.** Indica con un ejemplo las diferencias de la capacidad de resistencia de dos deportistas que tienen el mismo potencial y economía de esfuerzo, pero diferente tolerancia al desequilibrio orgánico.
- 5.** Relaciona el potencial, la economía de esfuerzo y la tolerancia al desequilibrio orgánico de un deportista con la fatiga aguda.
- 6.** Establece la relación entre la capacidad de resistencia y los factores de rendimiento motores e informacionales.
- 7.** Indica la justificación de clasificar la capacidad de resistencia de un esfuerzo continuo en función de su duración.
- 8.** Explica la justificación de clasificar la capacidad de resistencia entre esfuerzos continuos ejecutados a intensidad constante, esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable y esfuerzos intermitentes.

Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad constante

Alejandro Legaz-Arrese, Diego Munguía Izquierdo

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer el requerimiento metabólico de los esfuerzos continuos de distinta duración.
- Conocer los conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a la capacidad de resistencia.
- Diferenciar las distintas zonas metabólicas y su vinculación con los conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a la capacidad de resistencia.
- Comprender los factores que determinan el rendimiento de resistencia en esfuerzos continuos de distinta duración.
- Comprender la necesidad de trabajar para optimizar el rendimiento de un esfuerzo continuo en zonas metabólicas de menor y mayor intensidad a la requerida en competición.
- Comprender la adecuación de los distintos métodos de entrenamiento al desarrollo de la resistencia requerida en esfuerzos continuos de distinta duración.
- Conocer el estado actual y las limitaciones de la investigación asociada a la programación del entrenamiento de resistencia en los esfuerzos continuos de distinta duración.
- Diseñar, sobre la base del conocimiento actual, programas de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia requerida en las distintas modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de un esfuerzo continuo a intensidad constante.

Índice

- 2.1. Vías metabólicas y duración del esfuerzo
- 2.2. Conceptos fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos que demandan energía superior al consumo máximo de oxígeno
 - Potencia, capacidad y eficiencia anaeróbica aláctica

- Potencia y eficiencia anaeróbica láctica
- Importancia de la potencia aláctica y láctica en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia anaeróbica aláctica y láctica
- Cinética del consumo de oxígeno y consumo máximo de oxígeno
- Velocidad aeróbica máxima y tiempo límite a velocidad aeróbica máxima
- Tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones muy altas, altas y medias
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia
- 2.3. Conceptos fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos que demandan energía inferior al consumo máximo de oxígeno
 - Umbral anaeróbico, máximo estado estable de lactato y tiempo límite a velocidad del umbral anaeróbico
 - Eficiencia aeróbica-anaeróbica
 - Importancia de la velocidad aeróbica máxima y de la velocidad de umbral anaeróbico en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica
 - Eficiencia aeróbica
 - Importancia de la velocidad de umbral anaeróbico y de la velocidad aeróbica máxima en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica
 - Tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones medias, bajas y muy bajas
 - Capacidad aeróbica glucolítica y movilización de grasas
 - Equilibrio térmico e hidroelectrolítico
 - Economía del esfuerzo
 - Fuerza resistencia
- 2.4. Límites temporales de los conceptos fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos continuos de intensidad constante
- 2.5. Factores de rendimiento específicos de los esfuerzos continuos de intensidad constante
 - Esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg
 - Esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg
 - Esfuerzos máximos continuos de 30 seg a 1 min
 - Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min
 - Esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min
 - Esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min
 - Esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h
 - Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h
 - Esfuerzos máximos continuos de más de 2 h
- 2.6. Niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de los esfuerzos continuos de intensidad constante
- 2.7. Metodología del entrenamiento de los esfuerzos continuos de intensidad constante
 - Métodos continuos
 - Métodos fraccionados
 - Métodos que simulan la competición
 - Métodos que modifican la manifestación de fuerza
- 2.8. Aplicación de la metodología del entrenamiento para el desarrollo de los esfuerzos continuos de intensidad constante

Esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg
Esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg
Esfuerzos máximos continuos de 30 seg a 1 min
Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min
Esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min
Esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min
Esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h
Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h
Esfuerzos máximos continuos de más de 2 h

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Todos los deportistas que han de recorrer una determinada distancia o duración a la máxima velocidad posible, en un medio sin variación de la pendiente, se considera que realizan un **esfuerzo máximo continuo a intensidad constante**. Como la duración del esfuerzo puede ser de varios segundos a varias horas, es básico comprender el metabolismo requerido en función de la **duración del esfuerzo**. En este apartado planteamos inicialmente el estudio del metabolismo con el objetivo de profundizar en los conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a la resistencia, y en sus límites temporales. Este análisis nos permitirá, por una parte, justificar los límites de duración establecidos para el estudio de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante y, por otra parte, comprender los factores que determinan el rendimiento de resistencia en función de la duración del esfuerzo. Una vez conocidos los factores de rendimiento específicos, se establece el análisis de las características que debe tener el desarrollo de los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado, para así poder disponer del mapa conceptual de los factores que hay que desarrollar para cada intervalo de duración de esfuerzo. Finalmente, se afronta el estudio de los métodos de entrenamiento justificando su interrelación con el desarrollo de los distintos factores de rendimiento, lo que nos permite establecer una metodología de entrenamiento coherente y diferenciada según la duración del esfuerzo.

2.1. Vías metabólicas y duración del esfuerzo

El organismo tiene la virtud de transformar la energía química en energía mecánica a través de la degradación de diferentes sustratos energéticos. Este proceso se denomina **metabolismo** y su objetivo final es la obtención de **adenosín trifosfato** (ATP), que es la “moneda” necesaria para que se produzca la contracción muscular. Existen distintas vías metabólicas para la obtención de ATP (figura 4.3): (i) la **vía anaeróbica**, que no requiere O_2 y que se diferencia en **aláctica**, si se utilizan como sustratos **ATP** y **PCr**, y en **láctica**, si se utiliza como sustrato **hidratos de carbono**, y (ii) la **vía aeróbica**, que requiere O_2 , pudiendo obtenerse energía mediante la degradación de **hidratos de carbono**, **grasas** y **proteínas**. Las propiedades de las distintas vías metabólicas están determinadas por la cantidad de ATP por unidad de tiempo que son capaces de suministrar, por la potencia de la vía metabólica y por la cantidad de sustrato energético disponible, capacidad

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de la vía metabólica.

Podemos destacar como factores determinantes de la **potencia de las distintas vías metabólicas**: la disponibilidad de sustrato en la célula muscular, la necesidad de O_2 , los pasos metabólicos necesarios y la actividad de las enzimas clave. Para la obtención de energía mediante el **metabolismo anaeróbico aláctico**, los sustratos necesarios (ATP y PCr) se encuentran disponibles en la célula muscular, no se requiere O_2 , es un proceso metabólico sencillo (figura 4.4) y su potencia está determinada por la velocidad máxima con que la enzima ATPasa hidroliza el ATP, ya que la velocidad de suministro de ATP por la enzima creatinfosfocinasa es muy superior a la actividad de la ATPasa. Para la obtención de energía mediante el **metabolismo anaeróbico láctico**, tampoco se requiere la presencia de O_2 y una gran cantidad de hidratos de carbono se encuentran disponibles en la célula muscular; sin embargo, el proceso metabólico es más complejo (figura 4.5), dependiendo su potencia de la actividad de la enzima glucógeno fosforilasa y de la actividad de la enzima fosfofructocinasa. La potencia del **metabolismo aeróbico** está limitada al proceso de extracción y transporte de O_2 a la célula muscular. Además, para los tres sustratos energéticos (hidratos de carbono, grasas y proteínas) el proceso metabólico es muy complejo (figura 4.6). Como los hidratos de carbono se encuentran disponibles en la célula muscular, la potencia de obtención de energía mediante este sustrato es superior a la que se obtiene mediante la degradación de las grasas. La utilización de proteínas como sustrato energético está limitada a esfuerzos muy concretos, como en las pruebas de muy larga duración. Este análisis determina que la vía anaeróbica aláctica es la que permite obtener mayor cantidad de energía por unidad de tiempo, seguida por la vía anaeróbica láctica, la vía aeróbica a través de la degradación de los hidratos de carbono y, por último, la vía aeróbica mediante la degradación de las grasas.

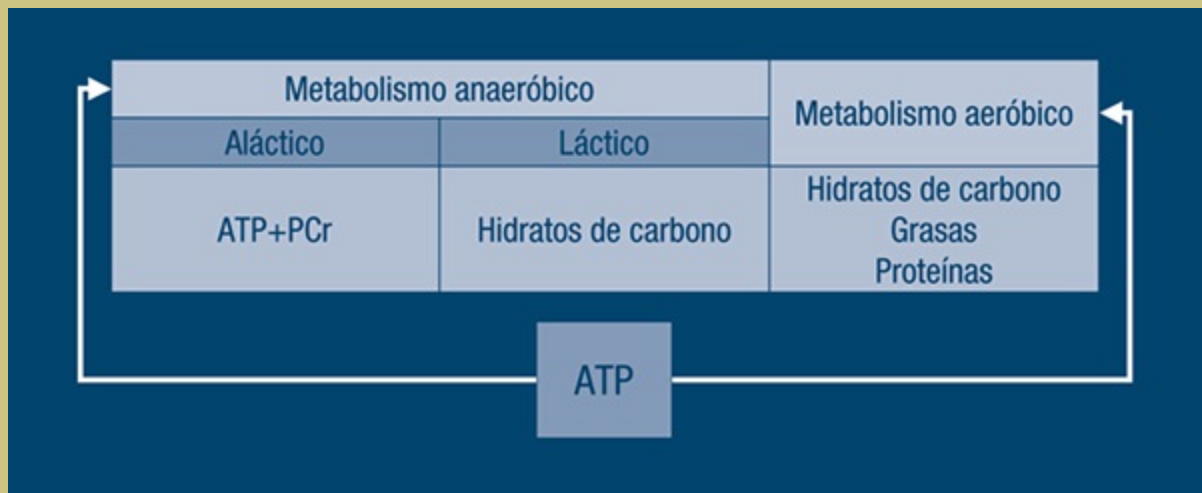


FIGURA 4.3 Vías metabólicas. El objetivo final de todas las vías metabólicas es la obtención de ATP, ya que es la única forma posible de transformar la energía química en energía mecánica. Obsérvense las diferentes vías metabólicas que cabe utilizar durante el esfuerzo y sus correspondientes sustratos energéticos.

Original de los autores.

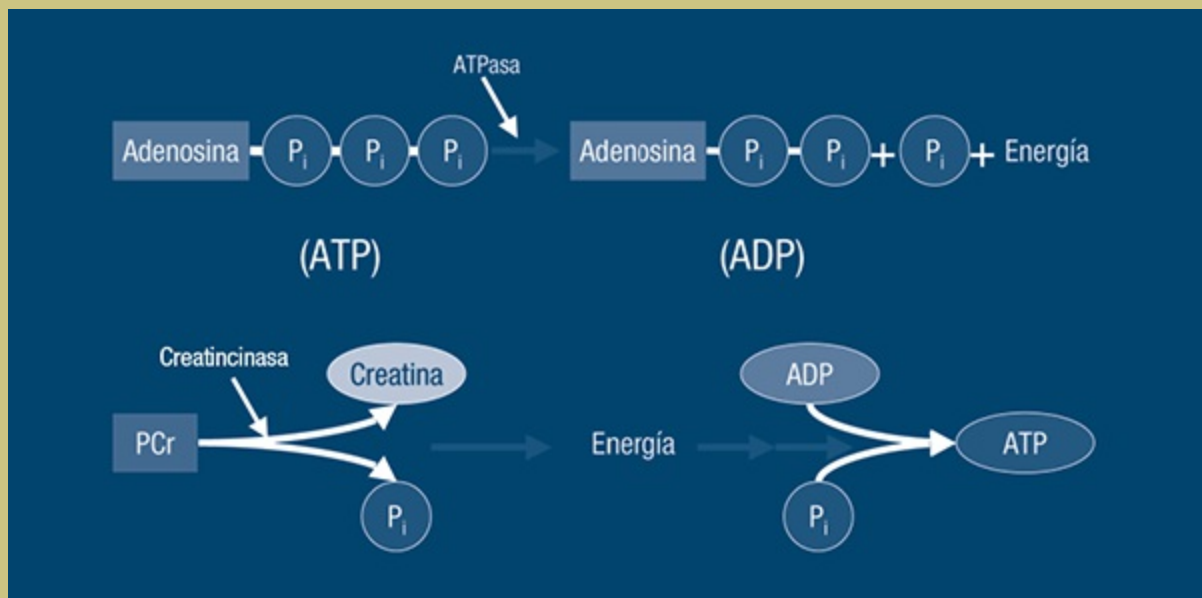


FIGURA 4.4. Metabolismo anaeróbico aláctico. A partir del ATP, con la mediación de la enzima ATPasa se libera un fosfato obteniéndose ADP, y se produce energía. A partir de la PCr, con la mediación de la enzima creatincinasa se libera un fosfato que, unido al ADP, forma una nueva molécula de ATP para la obtención de energía. Considérese la sencillez de este proceso metabólico y el que los sustratos se almacenen en la propia fibra

muscular.

Adaptado de Willmore JH y Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics, 2004.

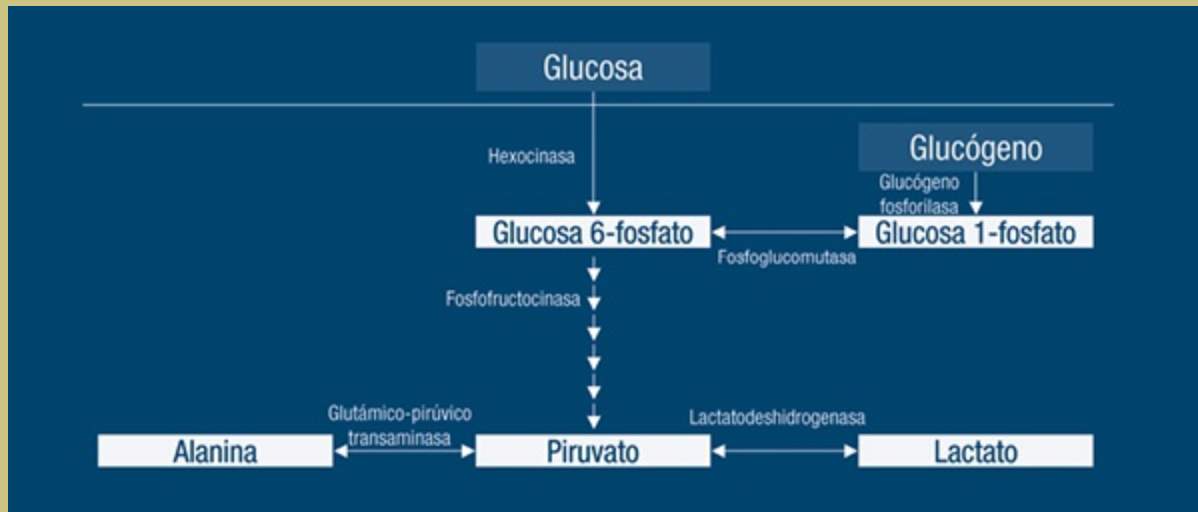


FIGURA 4.5. Metabolismo anaeróbico láctico. Obsérvese en este esquema simplificado, donde se destacan las enzimas más determinantes, cómo el metabolismo láctico obtiene energía mediante la degradación de la glucosa sanguínea o el glucógeno. El producto final es el ácido pirúvico, que en ausencia de O_2 se convierte en ácido láctico. La acumulación de iones ácidos produce una acidosis metabólica y autolimita la vía.

Adaptado de Leibar X y Terrados N. Aspectos específicos de la nutrición deportiva y ayudas ergogénicas. COE-UAM, 2003.

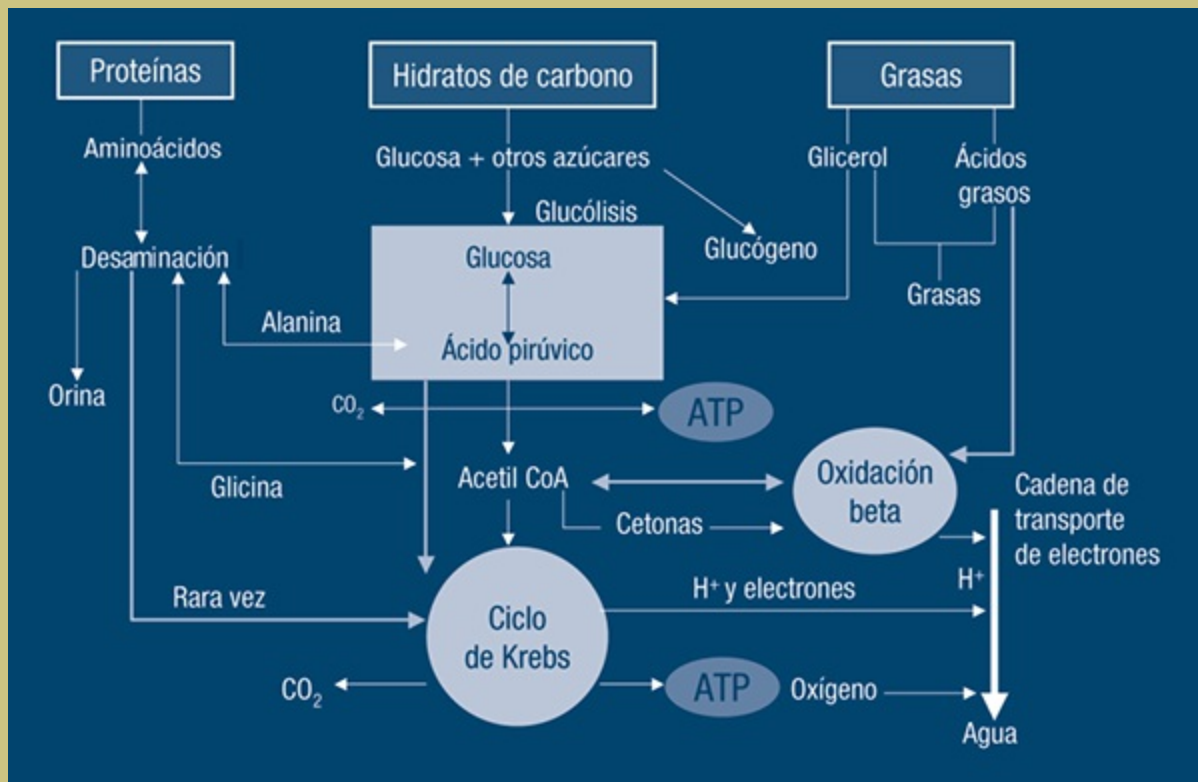


FIGURA 4.6. Metabolismo aeróbico. Obsérvese la complejidad del metabolismo aeróbico mediante la degradación de hidratos de carbono, proteínas y grasas. La obtención de energía aeróbica mediante la degradación de los hidratos de carbono es idéntica a la obtención por vía anaeróbica, con la salvedad de que el aporte de O_2 impide la transformación de piruvato a lactato. En este caso, el piruvato se convierte en coenzima-A, dando lugar dentro de la mitocondria al ciclo de Krebs que permite la obtención de energía. La obtención de energía mediante las grasas requiere un proceso más complejo, en primer lugar un proceso de β -oxidación que consiste en ir rompiendo la cadena de ácidos grasos (16-18 átomos de carbono) en compuestos de 2 carbonos que posteriormente acceden al mencionado ciclo de Krebs, con la consiguiente obtención de energía. Para la obtención de energía mediante las proteínas primero se requiere su fraccionamiento en los aminoácidos que las componen. El catabolismo de los aminoácidos supone, en primer lugar, la transaminación, que consiste en la cesión del grupo amino desde el aminoácido a otro compuesto receptor con la intervención de las transaminasas. Los restos carbonados que quedan después de la transaminación pueden incorporarse a los diferentes pasos del ciclo de Krebs. La proporción de obtención de energía mediante las proteínas es muy baja y aplicable sólo en esfuerzos de muy larga duración y/o en situación de ayuno.

Exactamente en orden inverso se establece la **capacidad de las distintas vías metabólicas** (figura 4.7). De esta forma, a través del **metabolismo anaeróbico** es posible ejecutar esfuerzos muy intensos, pero durante poco

tiempo, ya que está limitado por su capacidad; en cambio, mediante el **metabolismo aeróbico** se puede realizar esfuerzos de mayor duración a menor intensidad. De hecho, la potencia y la capacidad de las distintas vías metabólicas determinan en qué medida pueden ser utilizadas en función de la **duración del esfuerzo** (figura 4.8).

Según este análisis, podemos teóricamente definir la potencia y la capacidad de cada una de las distintas vías metabólicas. Como se representa en la figura 4.9, esto es cierto para la potencia, siendo errónea la conceptualización de la capacidad anaeróbica láctica y de la capacidad aeróbica mediante la degradación de las grasas o capacidad aeróbica lipídica.

Aunque el concepto **capacidad anaeróbica láctica** es habitualmente utilizado por numerosos autores, lo consideramos erróneo debido a que los **hidratos de carbono** únicamente están limitados en su capacidad para **esfuerzos superiores a 1 h**, siendo evidente que un deportista no puede realizar un esfuerzo de esta duración obteniendo predominantemente la energía mediante el metabolismo anaeróbico, sin presencia de O_2 . La limitación de esta vía metabólica es consecuencia de la acumulación de **ácido láctico**, producto del proceso metabólico, en las células musculares. La concentración de este ácido disminuye proporcionalmente el nivel de pH del músculo. Esta elevada acidez puede producir la muerte celular, por lo que el organismo, como mecanismo de defensa, a través de una depresión del transporte de Ca^{2+} , inhibe la contracción muscular inherente a una disminución de la intensidad del esfuerzo. Por este motivo, las mayores concentraciones de ácido láctico, asociadas a la utilización del metabolismo anaeróbico láctico, se evidencian en esfuerzos de muy corta duración. En esfuerzos de mayor duración disminuye la participación del metabolismo anaeróbico láctico, predominando la obtención de energía mediante el metabolismo aeróbico. De hecho, en esfuerzos de una duración superior a 1-2 min, dependiendo del nivel del deportista, de su perfil fisiológico y del tipo de esfuerzo (p. ej., correr, nadar, pedalear), la contribución del metabolismo aeróbico es superior a la del metabolismo anaeróbico (Foster *et al.*, 2004; Medbo y Tabata, 1989).

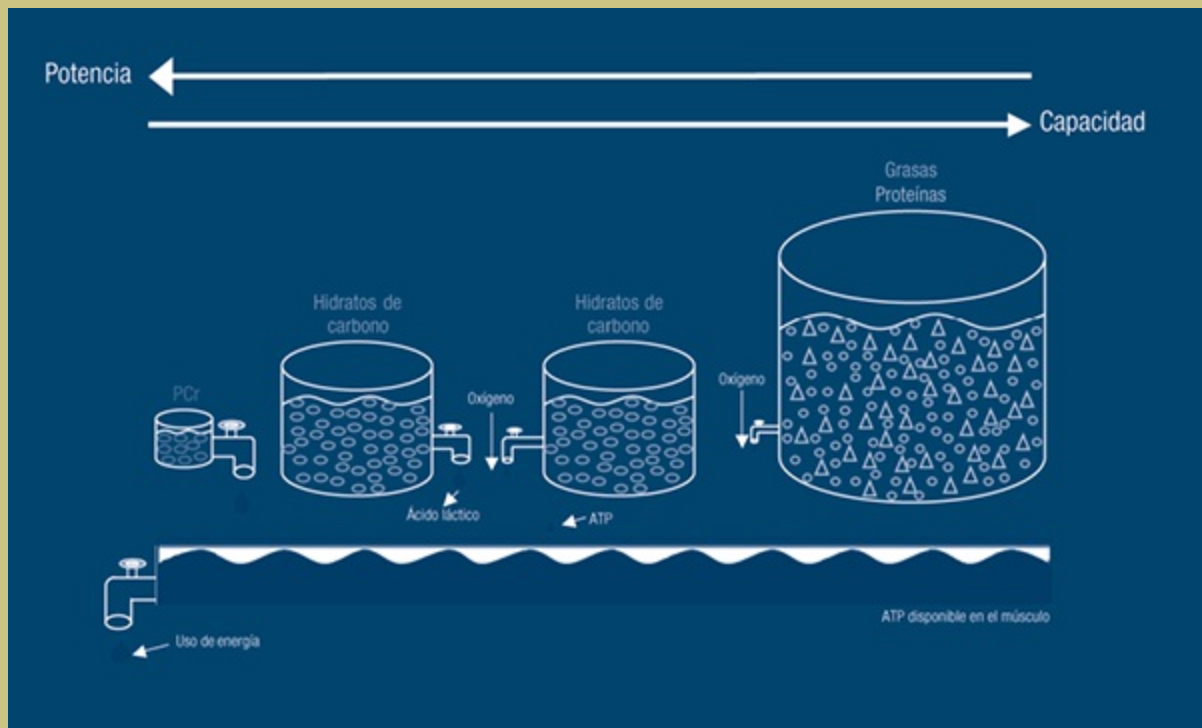


FIGURA 4.7. Relación entre la potencia y la capacidad de obtener energía de las distintas vías metabólicas. Obsérvense en este esquema didáctico las diferencias de potencia en la obtención de energía de las distintas vías metabólicas, así como sus diferencias en la capacidad o la cantidad de sustrato disponible.

Original de los autores.

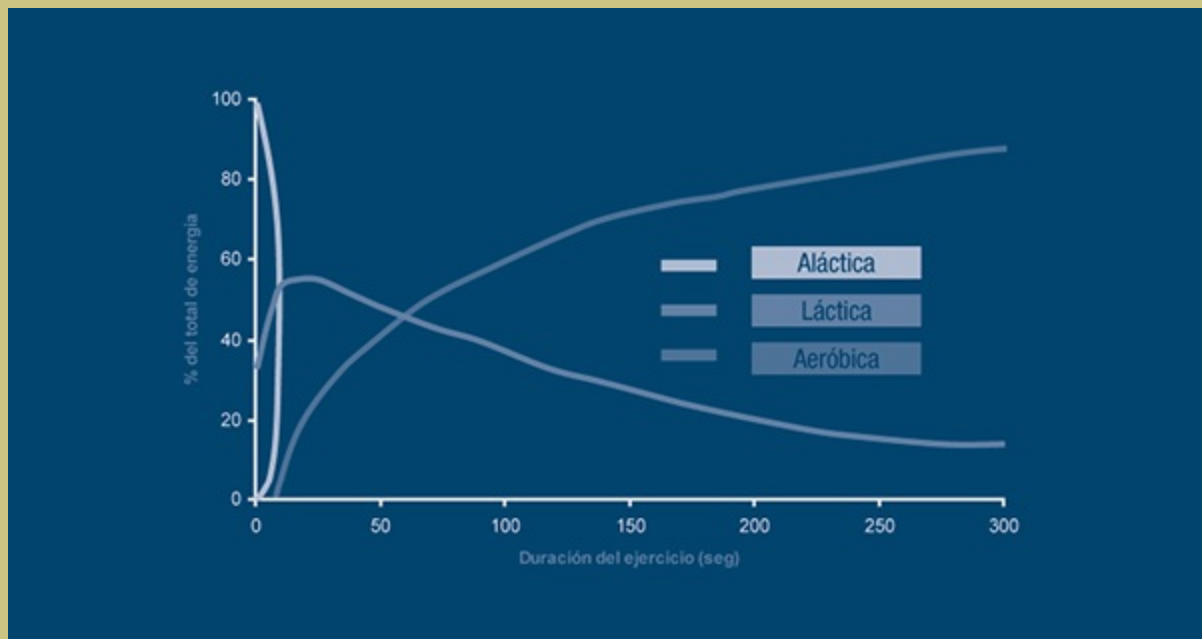


FIGURA 4.8. Contribución de las vías metabólicas y duración del esfuerzo. Desde el inicio del esfuerzo intervienen las distintas vías metabólicas. La participación de las vías metabólicas anaeróbicas, que permiten mayor potencia, es mayor en esfuerzos de corta duración, y la participación del metabolismo aeróbico aumenta asociado a la duración del esfuerzo. Obsérvese también que la limitada capacidad del metabolismo aláctico determina su utilización en una duración de esfuerzo muy breve.

Adaptado de Gorostiaga E et al. Respuestas biológicas al esfuerzo en el alto rendimiento deportivo. COE-UAM, 2003.

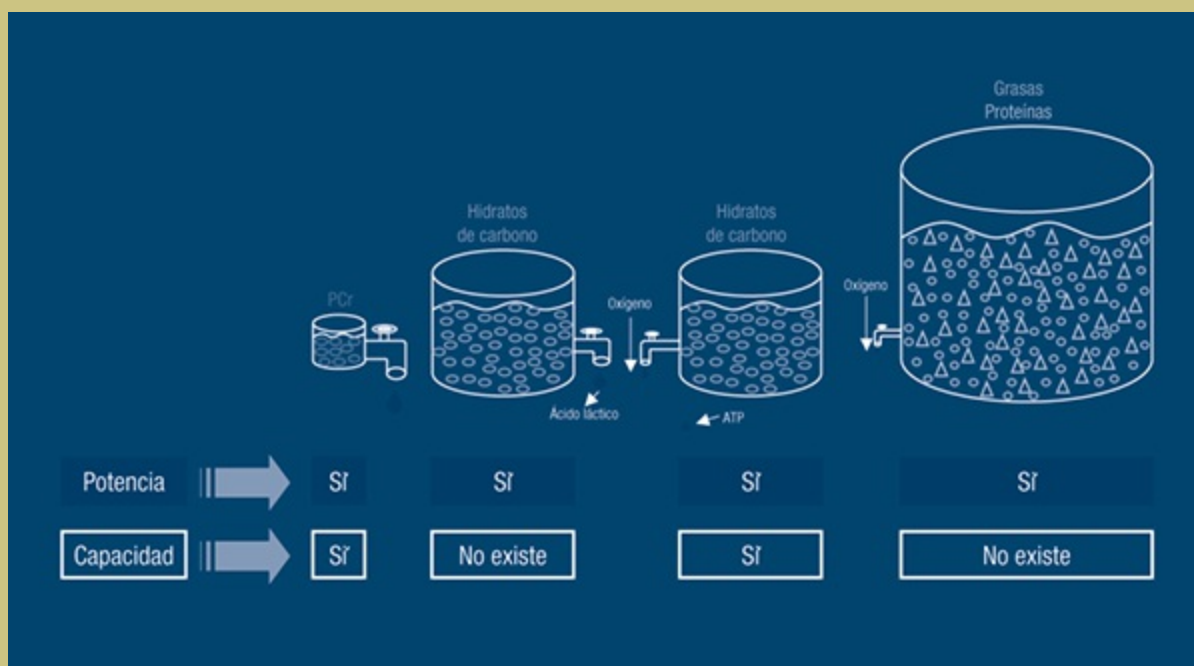


FIGURA 4.9. Potencia y capacidad para obtener energía de cada vía metabólica.

Original de los autores.

En vez del término “capacidad anaeróbica láctica”, consideramos más adecuado los términos **capacidad de eliminación de lactato** y **capacidad de tolerancia al lactato**. Para una misma proporción de obtención de energía por la vía anaeróbica láctica, el deportista que tenga mayor capacidad para difundir el lactato del músculo al torrente sanguíneo presentará menor concentración de lactato en el músculo y, por tanto, menor disminución del pH muscular y de la inhibición de la contracción muscular. Del mismo modo, y en función de factores genéticos y adaptaciones del entrenamiento, no todos los deportistas tienen la misma inhibición de la contracción muscular para una determinada concentración de lactato muscular, por lo que difieren en su capacidad para tolerar el lactato. En el concepto “tolerancia al lactato” es necesario distinguir tres factores determinantes: la **concentración del lactato**, la **duración del esfuerzo** y la **intensidad del esfuerzo**. Así, un deportista tolerará mejor una misma concentración de lactato si la duración y/o la intensidad del esfuerzo no son exigentes. De hecho, la concentración de lactato en el músculo es muy determinante de la intensidad que se puede desarrollar para una duración de esfuerzo establecida. De esta forma, una

concentración de lactato muy elevada, inducida por un esfuerzo de muy alta intensidad, puede ser tolerada durante muy poco tiempo. En cambio, los esfuerzos que progresivamente impliquen una menor concentración de lactato se van a caracterizar por una proporcional disminución de la intensidad y un incremento de la duración del esfuerzo.

La grasa comprende los triglicéridos intramusculares, los lípidos sanguíneos y el tejido adiposo. Como el metabolismo de las grasas es el que permite obtener una menor cantidad de energía por unidad de tiempo, su participación es relevante en esfuerzos de larga duración y baja intensidad. Sin embargo, no es correcto determinar una **capacidad aeróbica lipídica**, ya que desde una perspectiva metabólica los **depósitos de grasa son ilimitados**, y consiguientemente su capacidad no es un factor limitante del rendimiento en ninguna modalidad deportiva.

2.2. Conceptos fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos que demandan energía superior al consumo máximo de oxígeno

Potencia, capacidad y eficiencia anaeróbica aláctica

Como se ha especificado previamente, los fosfatos de alta energía (ATP y PCr), **metabolismo anaeróbico aláctico**, permiten obtener energía de forma muy rápida (**potencia**), pero la cantidad disponible (**capacidad**) es muy limitada. En consecuencia, la influencia del metabolismo aláctico va a ser relevante en **esfuerzos de muy corta duración**. Habitualmente, en muchos tratados sobre entrenamiento deportivo y fisiología del ejercicio se ha sobreestimado el tiempo de duración de esta vía metabólica. Como se observa en la figura 4.10, en los primeros 40 m de una carrera de 100 m (~ 6 seg) se evidencia una disminución de ~ 75% de la cantidad basal de PCr; en los 60 m finales la utilización de PCr y ATP es insignificante (Hirvonen *et al.*, 1987). El organismo nunca agota los depósitos de PCr y equilibra la degradación y obtención de ATP como mecanismo de alarma para no quedarse sin la única forma de que dispone para transformar la energía química en mecánica. Estos datos sugieren que el **tiempo límite de la potencia aláctica** es ~ **6 seg de esfuerzo**, coincidiendo con el tiempo durante

el cual el deportista no es capaz de degradar PCr.

La proporción en la utilización de las vías metabólicas en una carrera de 100 m se relaciona con la evolución de la velocidad de desplazamiento determinada en numerosos análisis biomecánicos (Ferro *et al.*, 1999; Hirvonen *et al.*, 1987). El requerimiento energético en la primera parte de la prueba es muy elevado debido a que los deportistas tienen que acelerar hasta alcanzar la velocidad máxima de desplazamiento, aproximadamente a los 40-60 m. Únicamente es posible mantener la velocidad máxima de desplazamiento durante ~10-20 m. Así, en la parte final de la prueba, a pesar del menor requerimiento energético, se evidencia en todos los deportistas una disminución de su velocidad máxima de desplazamiento. Esta disminución de la velocidad de desplazamiento coincide cuando el deportista no es capaz de obtener más energía mediante la degradación de los depósitos de PCr, siendo el requerimiento energético suministrado casi exclusivamente mediante el metabolismo anaeróbico láctico. Debido a la limitaciones de los niveles de PCr, la suplementación con creatina es un medio efectivo de mejorar el rendimiento en una carrera de 100 m (Skare *et al.*, 2001).

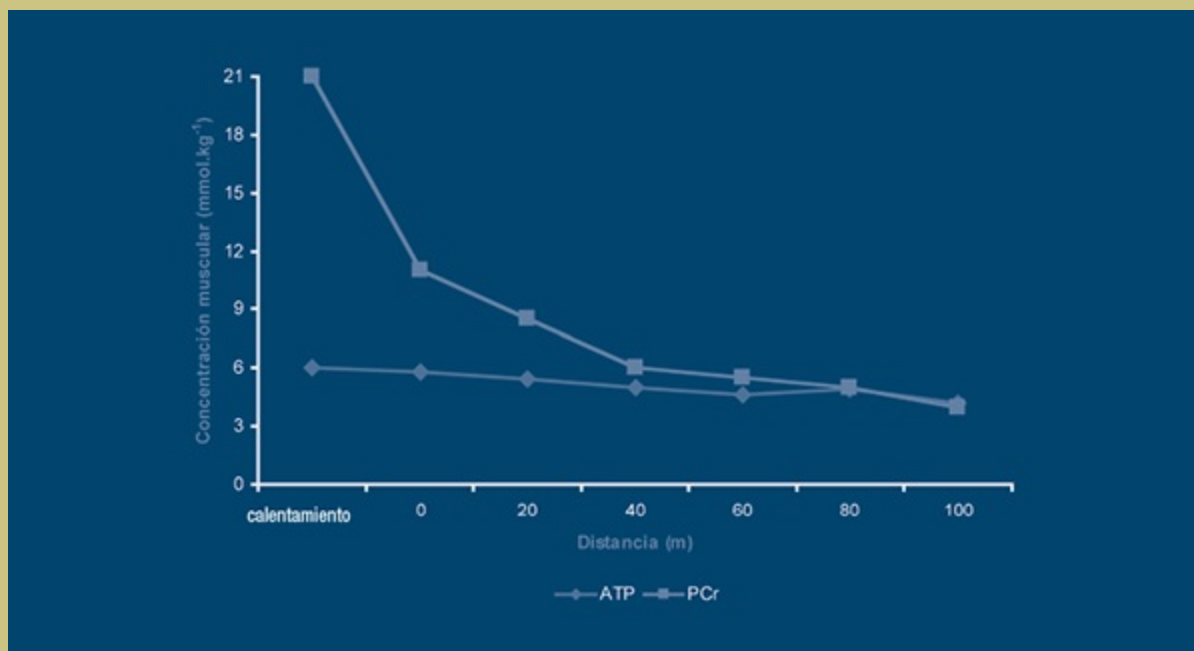


FIGURA 4.10. Concentración de ATP y PCr en una carrera de 100 m. Incluso en un esfuerzo de muy corta duración, los deportistas mantienen casi intacta su concentración de ATP (disminución del 25%). A los 40 m los deportistas han agotado su capacidad de depleción de PCr (disminución del 75% a los 40 m y del 80% al final del esfuerzo). Es

interesante que los deportistas más rápidos consiguieran un mayor grado de depleción de PCr.

Adaptado de Hirvonen J et al. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1987;56:253-9.

Los depósitos de PCr no se agotan en los primeros segundos de un esfuerzo de una **duración superior a 10-15 seg**. La mayor duración del esfuerzo impide que el deportista desarrolle su velocidad máxima de desplazamiento. Como consecuencia, el **requerimiento energético por unidad de tiempo** disminuye, no pudiendo manifestarse la potencia anaeróbica aláctica. Esta regulación del esfuerzo determina, por ejemplo, que los depósitos de PCr no se agoten hasta los últimos segundos en corredores que realizan una prueba de ~ 45 seg (Hirvonen *et al.*, 1992). En esta temporalidad de esfuerzos probablemente el nivel de agotamiento de las reservas de PCr está relacionado con el potencial del deportista de obtener una elevada *ratio* de energía por unidad de tiempo mediante el metabolismo aláctico. Así, en **esfuerzos de 10 a 45 seg** se requiere que el deportista sea capaz de movilizar el **mayor grado posible de su potencia aláctica**. La diferencia porcentual entre la potencia aláctica y su grado de utilización durante un esfuerzo se expresa con el concepto **eficiencia aláctica**. Aunque en pruebas de una **duración superior a 45 seg** también se ha observado un agotamiento de las reservas de PCr, es probable que la relevancia del metabolismo aláctico sea insignificante. En este caso, la *ratio* de obtención de energía mediante esta vía metabólica desciende considerablemente, y además la contribución del metabolismo aláctico al requerimiento total de energía es muy baja.

Potencia y eficiencia anaeróbica láctica

La utilización del **metabolismo anaeróbico láctico** a su **máxima potencia** tiene una limitación temporal similar a la observada para la potencia anaeróbica aláctica. De hecho, se ha demostrado que la enzima limitante de esta vía metabólica, la glucógeno fosforilasa, alcanza su máxima actividad en los **primeros 6 seg** de un esfuerzo de 30 seg en cicloergómetro realizado a la máxima intensidad posible desde su inicio (Parolin *et al.*, 1999) (figura 4.11).

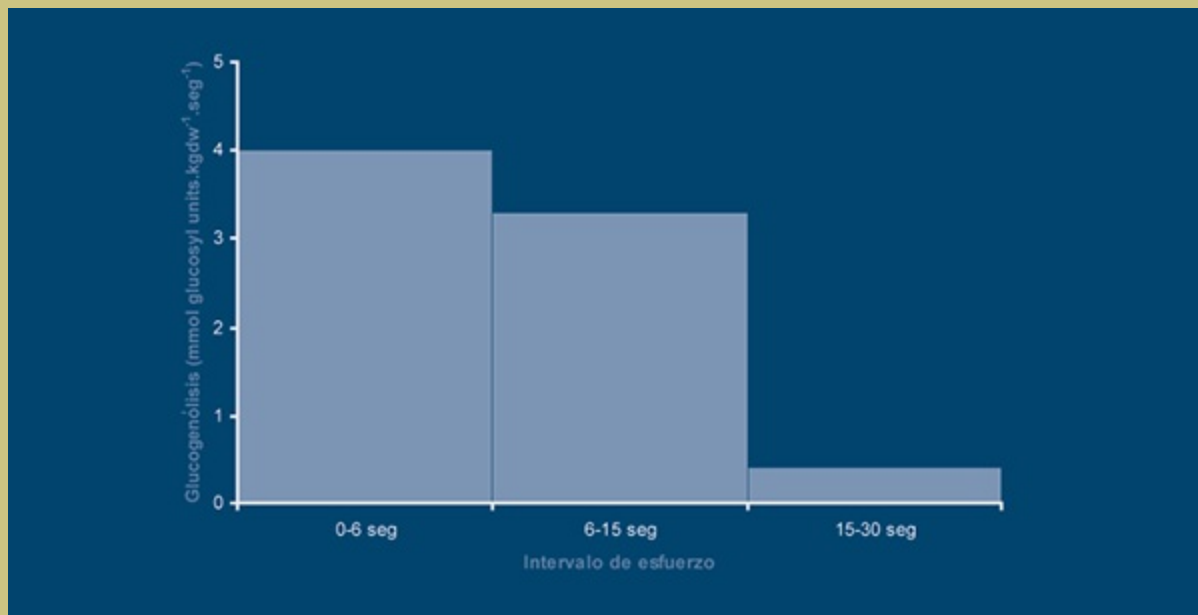


FIGURA 4.11. Actividad del metabolismo anaeróbico láctico durante un esfuerzo de 30 seg en cicloergómetro. La mayor potencia del metabolismo anaeróbico láctico se evidencia también en los primeros 6 seg de un esfuerzo ejecutado a la intensidad máxima. El esfuerzo se realiza a la máxima intensidad posible desde su inicio.

Adaptado de Parolin ML et al. Am J Physiol 1999;277(5 Pt 1):E890-900.

La importancia del metabolismo anaeróbico láctico en esfuerzos de muy corta duración ha sido demostrada también por otros autores. Así, Gaitanos *et al.*, (1993) indicaron que el metabolismo anaeróbico láctico aporta un 44,1% del total de energía requerida para realizar un esfuerzo máximo de 6 seg en cicloergómetro. En este estudio, el 49,6% de la energía se obtuvo mediante la degradación de la PCr, y únicamente un 6,3% mediante la hidrólisis del ATP.

Aunque en esfuerzos de **duración superior a 6 seg** no se desarrolla la potencia láctica, sigue habiendo una importante actividad enzimática (Parolin *et al.*, 1999) (véase la figura 4.11), lo que provoca una elevada **concentración de lactato** por unidad de tiempo. Como la producción de lactato es muy superior a la que el organismo es capaz de difundir a la sangre, la concentración de lactato se incrementa progresivamente desde el inicio del esfuerzo hasta una duración de ~30-45 seg (Legaz-Arrese, 2000). Es, por tanto, en esta temporalidad de esfuerzo donde se observan las mayores concentraciones de lactato (20-24 mmol·l⁻¹ en corredores de elite). Esta concentración de lactato parece ser el límite máximo tolerable por el

organismo de los deportistas de elite. Así, en esfuerzos de una duración superior disminuye la *ratio* producción/eliminación de lactato, observándose concentraciones de lactato inferiores (Legaz-Arrese, 2000).

Estas limitaciones temporales de la acumulación de lactato por unidad de tiempo se reflejan en el análisis realizado por Hirvonen *et al.*, (1992, 1987) en corredores de 100 y 400 m (figuras 4.12 y 4.13). En una carrera de 100 m se incrementa progresivamente la concentración de lactato hasta alcanzar valores de $\sim 8\text{-}10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ al finalizar el esfuerzo (Hirvonen *et al.*, 1987). En los primeros 100 m de una carrera de 400 m, la acumulación de lactato por unidad de tiempo es significativamente inferior a la observada en el intervalo de los 100 a los 300 m. En los últimos 100 m de carrera, la acumulación de lactato disminuye significativamente asociado a una disminución de la velocidad de desplazamiento. Estos datos están claramente relacionados con la evolución de la concentración de PCr (figura 4.14). En los primeros 100 m de carrera, la menor actividad del metabolismo láctico es compensada por una mayor participación del metabolismo aláctico (disminución de un 47% de los depósitos de PCr). Como hemos indicado, en este caso los depósitos de PCr no se agotan en los primeros metros de carrera debido a que el requerimiento energético por unidad de tiempo es significativamente inferior en un esfuerzo de 45 seg que en un esfuerzo de 10 seg. La elevada participación del metabolismo láctico en el intervalo de 100 a 300 m produce un aumento progresivo de la concentración de lactato en el músculo. La elevada concentración de lactato con la que los deportistas deben afrontar los últimos 100 m de carrera probablemente origina una **inhibición de la contracción muscular** que determina un menor ritmo de utilización del metabolismo láctico y, en consecuencia, una disminución de la velocidad de desplazamiento ($8,06 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ de 0 a 100 m; $8,30 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ de 100 a 200 m; $7,64 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ de 200 a 300 m y $7,01 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ de 300 a 400 m). La menor participación del metabolismo láctico en la última parte del esfuerzo es compensada por los deportistas con una mayor utilización de otras vías metabólicas: la depleción casi completa de los depósitos de PCr ($\sim 90\%$), la disminución de la concentración de ATP ($\sim 30\%$) y, como veremos posteriormente, un mayor consumo de O_2 .

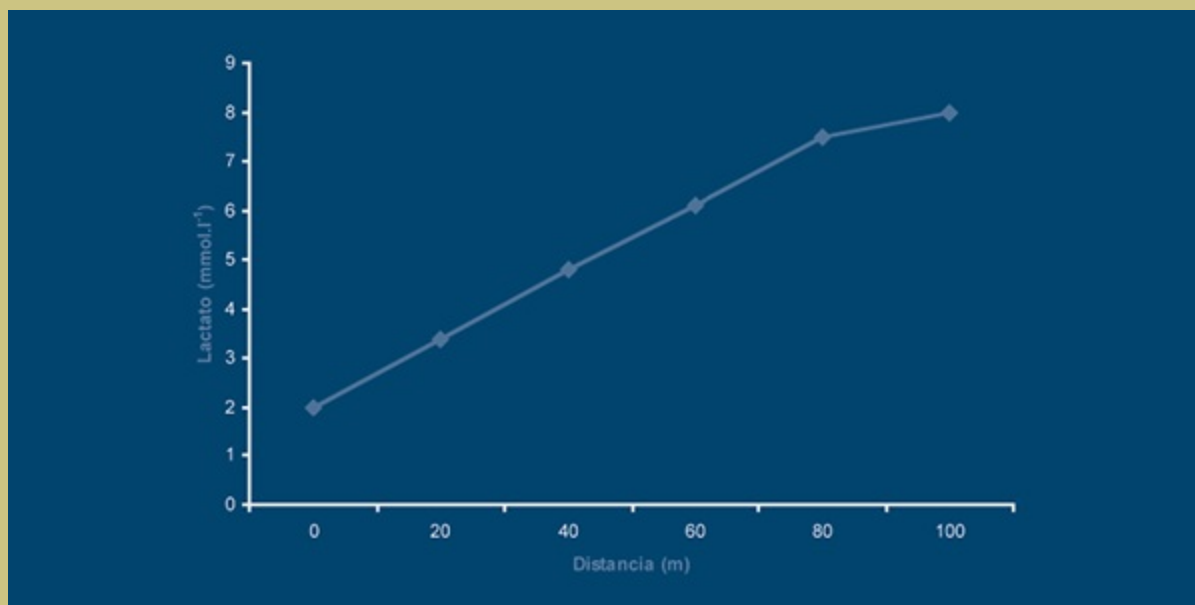


FIGURA 4.12. Concentración de lactato en una carrera de 100 m. Desde el inicio del esfuerzo se incrementa proporcionalmente a su duración la concentración de lactato muscular. La potencia máxima de esta vía metabólica se evidencia desde el inicio del esfuerzo y su contribución energética es prácticamente exclusiva en los últimos 50 m como consecuencia del agotamiento de la PCr.

Adaptado de Hirvonen J et al. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1987;56:253-9.

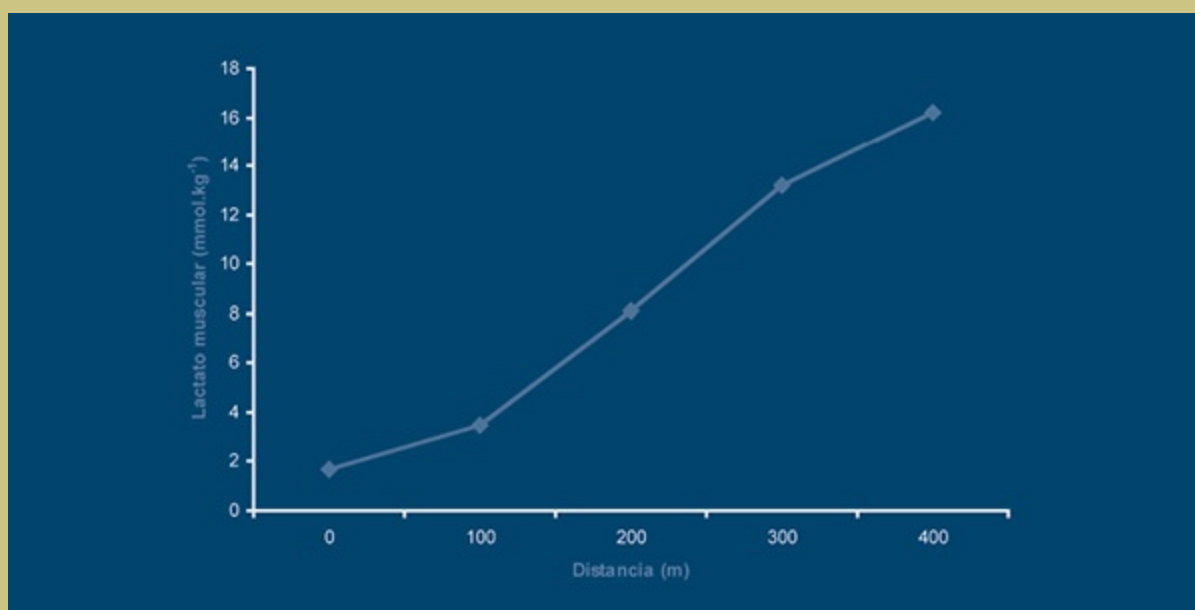


FIGURA 4.13. Concentración de lactato en una carrera de 400 m. El mayor incremento

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de lactato por unidad de tiempo se evidencia de los 100 m a los 300 m (véase texto para su comprensión). La concentración de lactato es más elevada que en distancias inferiores, lo que limita significativamente la velocidad de desplazamiento. Sin embargo, esto se debe a la acumulación sucesiva consecuencia de la mayor duración del esfuerzo, mientras que la relación lactato/unidad de tiempo (reflejo indirecto de la potencia de esta vía metabólica) es significativamente inferior a la observada para una distancia de 100 m.

Adaptado de Hirvonen J et al. Can J Sport Sci 1992;17:141-4.

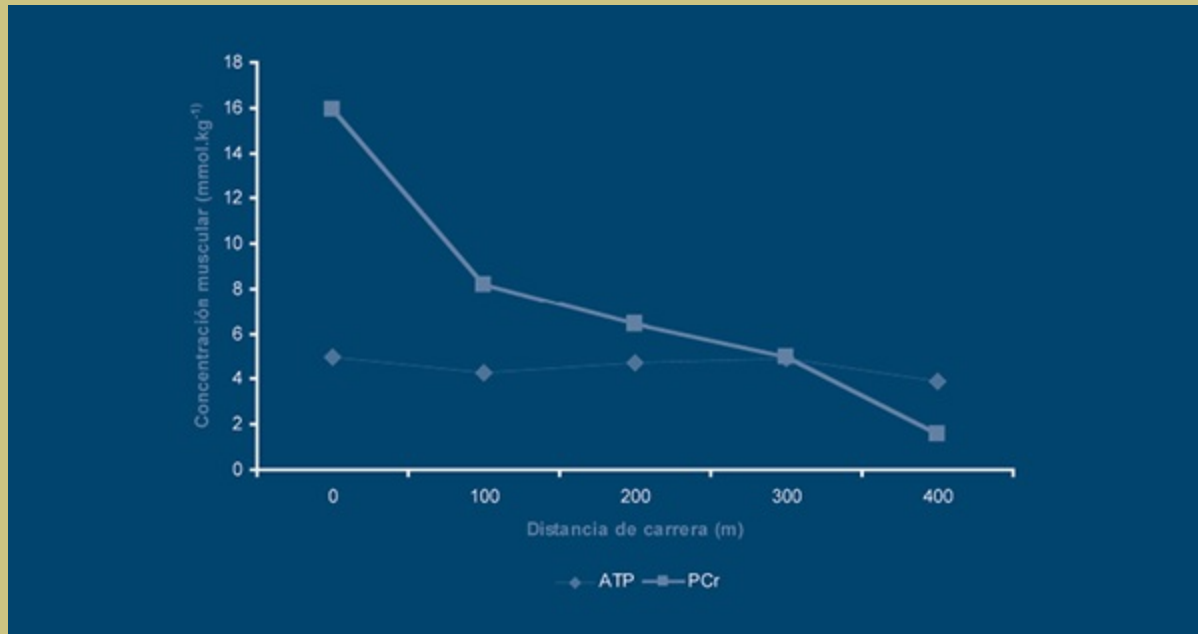


FIGURA 4.14. Concentración de ATP y PCr en una carrera de 400 m. Los depósitos de PCr no se agotan a la misma velocidad que en una distancia de 100 m. Esto es consecuencia de que los deportistas realizan el esfuerzo a menor velocidad de desplazamiento. Véase el texto para comprender la diferente proporción de utilización de PCr y ATP en función de la duración del esfuerzo.

Adaptado de Hirvonen J et al. Can J Sport Sci 1992;17:141-4.

De forma análoga a lo establecido para el metabolismo aláctico, definimos **eficiencia anaeróbica láctica** como el **porcentaje de la potencia láctica** que el deportista es capaz de desarrollar en un determinado esfuerzo. Así, en esfuerzos de una duración superior a 6 seg, en los que el deportista ya no puede manifestar la potencia láctica, es necesaria su eficiencia. La necesidad de resíntesis del ATP por la vía láctica se hace patente hasta una duración del esfuerzo de ~ 6 min, ya que el requerimiento energético necesario para la ejecución de esfuerzos de menor duración es superior al que puede ser

satisfecho por el potencial aeróbico máximo del deportista (véase el concepto de tiempo límite [Tlim] a velocidad aeróbica máxima [VAM]). Desde una perspectiva práctica, son equivalentes los conceptos de eficiencia aláctica y láctica debido a que es equiparable el Tlim en que un deportista puede manifestar la potencia de ambas vías metabólicas (~ 6 seg). Por tanto, se consideran **zona metabólica de eficiencia anaeróbica** todos los **esfuerzos comprendidos entre ~ 6 seg y ~ 6 min**. Lógicamente, al incrementar la duración del esfuerzo disminuye la aportación del metabolismo láctico y, por tanto, el **grado de eficiencia anaeróbica** requerido. Así, aunque en **esfuerzos de 6 a 30 seg** no se manifieste la potencia láctica, la velocidad de resíntesis del ATP por esta vía metabólica es muy alta, por lo que la eficiencia anaeróbica manifestada es **muy elevada**. Atendiendo al estudio de Hirvonen (1992) (véase la figura 4.13), la velocidad de resíntesis de ATP por la vía láctica disminuye significativamente en los últimos 15 seg de un esfuerzo de 45 seg como consecuencia de la elevada concentración de lactato. En **esfuerzos de 30 a 60 seg**, todavía la participación relativa del metabolismo láctico es superior a la del metabolismo aeróbico, deduciéndose la necesidad de desarrollar una eficiencia anaeróbica **elevada**. Se puede considerar que los **esfuerzos de 1 a 2 min** se desarrollan en la intensidad **media** de esta zona metabólica. Debido a la escasa participación del metabolismo láctico, la eficiencia anaeróbica requerida en **esfuerzos de 2 a 6 min** es relativamente **baja**.

Importancia de la potencia aláctica y láctica en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia anaeróbica aláctica y láctica

Se ha justificado que, aunque un deportista desarrolle la máxima velocidad de desplazamiento posible, únicamente puede manifestar su potencia aláctica y láctica en los primeros 6 seg de esfuerzo. Atendiendo a la necesidad de obtener energía mediante el metabolismo aláctico y láctico, respectivamente, los esfuerzos de ~ 6 a 45 seg se han establecido en una zona de eficiencia anaeróbica aláctica, y los esfuerzos de ~ 6 seg a ~ 6 min, en una zona de eficiencia anaeróbica láctica. En este sentido, para esfuerzos de ~ 6 seg a ~ 6 min, las potencias aláctica y láctica pueden considerarse los **límites fisiológicos máximos** que el deportista no puede manifestar. En un esfuerzo de ~ 6 a 45 seg es relevante que, mediante el desarrollo de la eficiencia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

anaeróbica aláctica, el deportista sea capaz de aproximarse a su potencia aláctica. Igualmente, para el intervalo de esfuerzos de ~ 6 seg a ~ 6 min es posible optimizar el rendimiento del deportista mediante el desarrollo de su eficiencia anaeróbica láctica, aproximando la velocidad de resíntesis del ATP por esta vía metabólica a su potencia láctica. Sin embargo, para ambas vías metabólicas, aunque un deportista manifieste una óptima eficiencia, la velocidad de resíntesis del ATP será baja si no dispone de una potencia metabólica elevada. En consecuencia, aunque un deportista no pueda manifestar la máxima potencia, una **potencia anaeróbica aláctica** óptima es importante para el rendimiento en esfuerzos de ~ **6 a 45 seg**, y una **potencia anaeróbica láctica** óptima lo es para el rendimiento en esfuerzos de ~ **6 seg a ~ 6 min**. Con una mayor duración del esfuerzo, una potencia relativamente deficiente puede ser compensada por un mayor desarrollo de su eficiencia.

Cinética del consumo de oxígeno y consumo máximo de oxígeno

Al igual que lo establecido para el metabolismo anaeróbico láctico, desde el comienzo de un esfuerzo se pone en funcionamiento el sistema cardiovascular y respiratorio para aprovisionar de O₂ al músculo. En esfuerzos de muy corta duración, el requerimiento energético es tan elevado que la aportación del metabolismo aeróbico es insignificante. La importancia del **metabolismo aeróbico** se incrementa progresivamente con la **duración del esfuerzo**. Como se ha indicado previamente, a partir de ~1-2 min de esfuerzo la contribución energética del metabolismo aeróbico es superior a la del metabolismo anaeróbico. Sin embargo, cuando el deportista no se regula en su esfuerzo y alcanza la máxima intensidad posible desde el inicio, la participación del metabolismo aeróbico es ya superior en los últimos 15 seg de un esfuerzo de 30 seg realizado en cicloergómetro (Parolin *et al.*, 1999) (figura 4.15).

Los estudios realizados con corredores por Spencer *et al.*, (2001) son ilustrativos de la **cinética del VO₂** en esfuerzos en los que, como en la competición, los deportistas regulan la intensidad en función de la duración. El primer aspecto destacable es que la aportación energética del metabolismo aeróbico se incrementa desde el inicio de forma progresiva con la duración del esfuerzo (figuras 4.16-4.19). Sin embargo, hasta ~ **40-60 seg de esfuerzo**

el deportista no es capaz de aprovechar su potencia aeróbica o **consumo máximo de oxígeno** (VO_2 máx.) (figuras 4.17-4.19). Esto implica que en el primer minuto de esfuerzo toda la energía que no puede satisfacer el potencial aeróbico de que dispone el deportista es asumida por el metabolismo anaeróbico (**déficit de O_2**), con la consiguiente mayor acumulación de lactato. El desarrollo del máximo potencial oxidativo a partir de ~ 1 min de esfuerzo también se ha observado en nadadores (Dal Monte y Faina, 1999). Si el esfuerzo es de una **duración superior a 1 min**, el deportista mantiene su VO_2 máx. en el resto de la prueba (figuras 4.18 y 4.19).

Como se observa en los esfuerzos de 20, 50 y 120 seg (figuras 4.16-4.18), el requerimiento energético no podría ser satisfecho por el metabolismo aeróbico aunque el deportista pudiese disponer de su VO_2 máx. desde el inicio del ejercicio. En este sentido, la **aportación del metabolismo anaeróbico** tiene un doble motivo: (i) suplir la lentitud de la aportación energética del metabolismo aeróbico durante el primer minuto de esfuerzo, y (ii) aportar desde el inicio del esfuerzo el nivel de energía que no puede ser satisfecho por el VO_2 máx. del deportista. Respecto a este segundo aspecto, la aportación del metabolismo anaeróbico disminuye al aumentar la duración del esfuerzo, ya que la intensidad y en consecuencia el nivel energético requerido son menores (figuras 4.16-4.19). De hecho, como se ha especificado anteriormente, podemos considerar en teoría que la aportación energética del metabolismo anaeróbico desaparece en **esfuerzos de ~ 6 min**, ya que la demanda energética requerida es satisfecha por el metabolismo aeróbico.

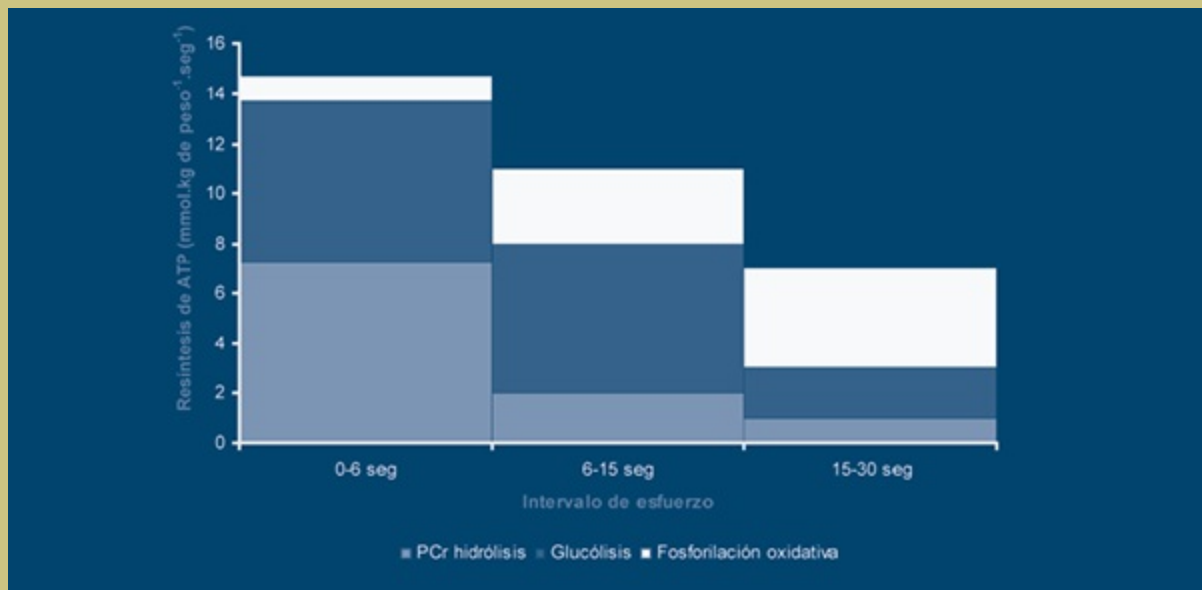


FIGURA 4.15. Contribución de las vías metabólicas a la resíntesis del ATP durante un esfuerzo de 30 seg en cicloergómetro. En un esfuerzo de 30 seg ejecutado a la máxima intensidad posible desde su inicio, la cantidad de energía que puede obtener el deportista disminuye significativamente a partir de los 6 seg de esfuerzo; como consecuencia también disminuye su velocidad de desplazamiento o potencia desarrollada. La aportación del metabolismo aláctico y en menor medida del metabolismo láctico es también inferior de 6 a 15 seg que durante los primeros 6 seg. Puede comprobar también la elevada contribución del metabolismo aeróbico en la segunda parte del esfuerzo.

Adaptado de Parolin ML et al. Am J Physiol 1999;277(5 Pt 1):E890-900.

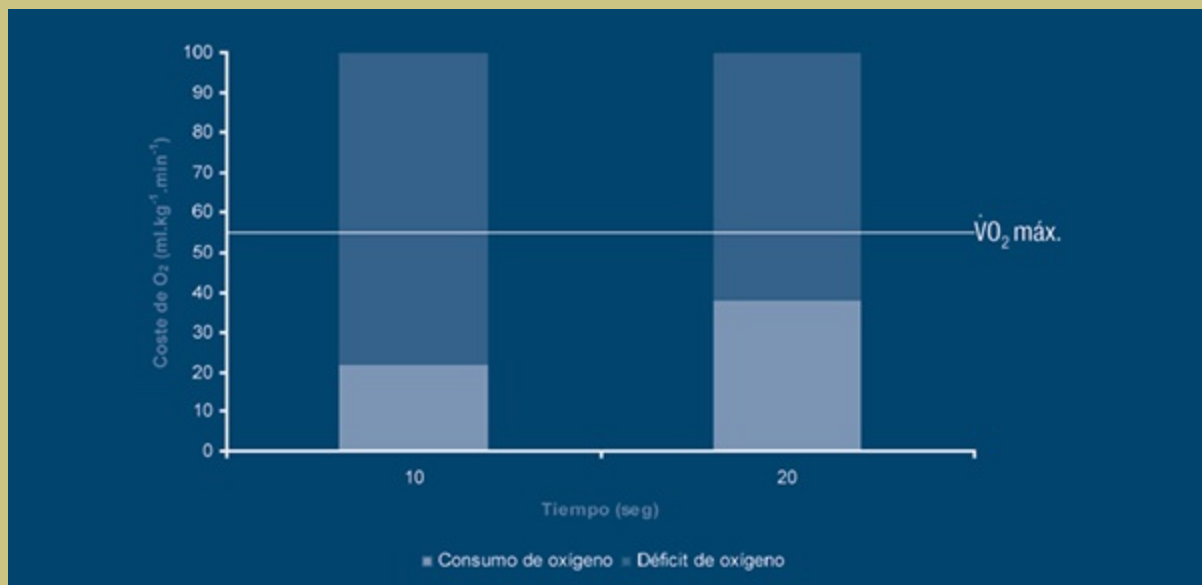


FIGURA 4.16. Cinética del $\dot{V}O_2$ y déficit de O_2 en una carrera de 200 m (~20 seg). En un esfuerzo de ~20 seg el requerimiento energético es muy superior al que se podría aportar mediante la potencia máxima del metabolismo aeróbico ($\dot{V}O_2$ máx.). Observe que, como consecuencia, la mayor parte de la energía debe obtenerse sin O_2 mediante la contribución del metabolismo anaeróbico. Obsérvese la cinética del $\dot{V}O_2$, donde cabe comprobar que aunque el deportista intenta obtener la mayor cantidad posible de energía por vía aeróbica, en un esfuerzo de esta duración ni siquiera puede manifestar su $\dot{V}O_2$ máx. **FIGURA 4.16. Cinética del**

Adaptado de Spencer MR y Gustin PB. Med Sci Sports Exerc 2001;33:157-62.

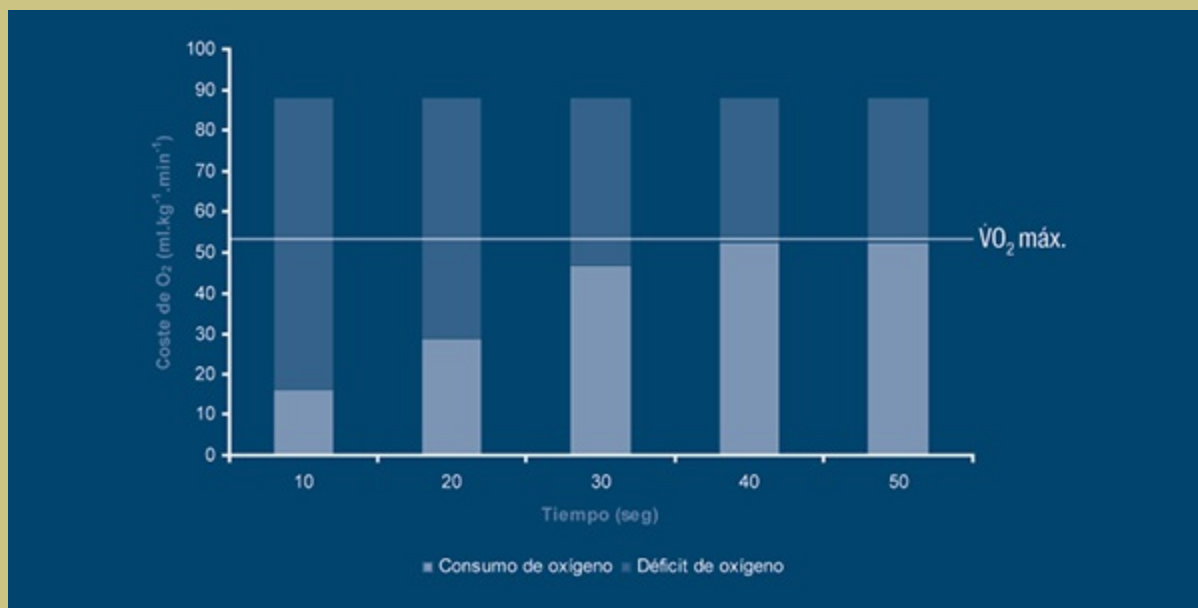


FIGURA 4.17. Cinética del $\dot{V}O_2$ y déficit de O_2 en una carrera de 400 m (~50 seg). El requerimiento energético en un esfuerzo de ~50 seg es muy inferior al requerido en un esfuerzo de ~20 seg. Como consecuencia, la contribución del metabolismo aeróbico es superior. Obsérvese la cinética del $\dot{V}O_2$ y se podrá comprobar cómo, debido a la mayor duración de esfuerzo, los deportistas pueden incluso manifestar su $\dot{V}O_2$ máx. en la parte final. Cabe observar entonces que la contribución del metabolismo aeróbico aumenta asociado a la duración del esfuerzo. También, debido a la menor intensidad, a los 20 seg de un esfuerzo de ~50 seg, el $\dot{V}O_2$ es inferior al observado para un esfuerzo de 20 seg.

FIGURA 4.17. Cinética del

Adaptado de Spencer MR y Gustin PB. Med Sci Sports Exerc 2001;33:157-62.

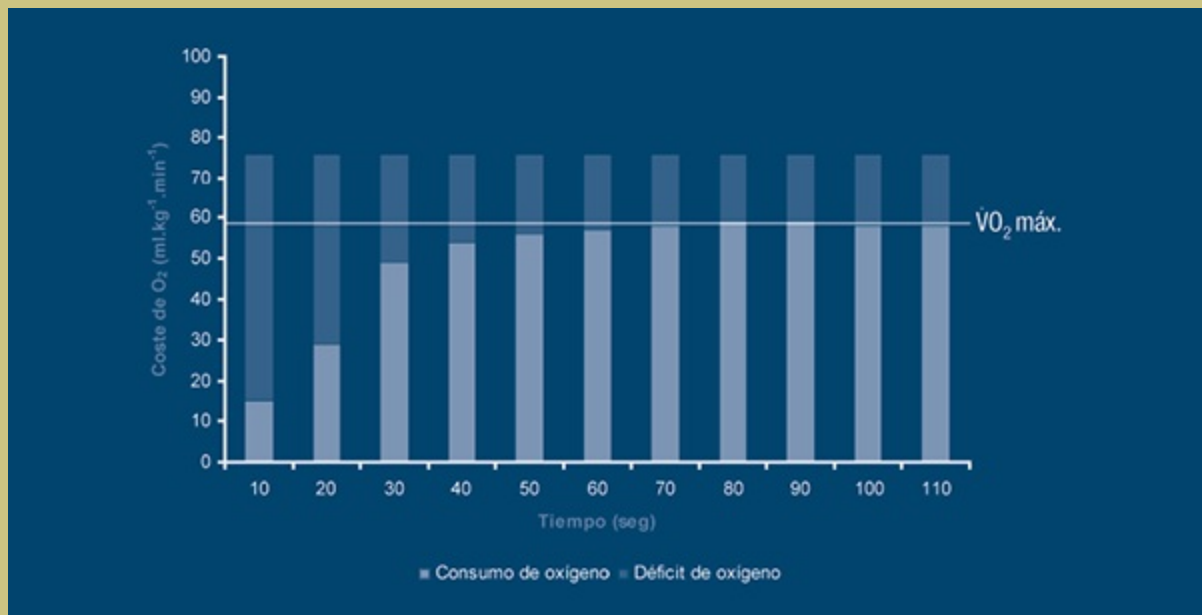


FIGURA 4.18. Cinética del $\dot{V}O_2$ y déficit de O_2 en una carrera de 800 m (~110 seg). Compruébese nuevamente cómo, al aumentar la duración del esfuerzo, el requerimiento energético es cada vez menor debido a que el deportista desarrolla una menor velocidad de desplazamiento, y la contribución relativa del metabolismo aeróbico es mayor. Los deportistas tardan ~1 min en manifestar su $\dot{V}O_2$ máx. **FIGURA 4.18. Cinética del**

Adaptado de Spencer MR y Gastin PB. Med Sci Sports Exerc 2001;33:157-62.

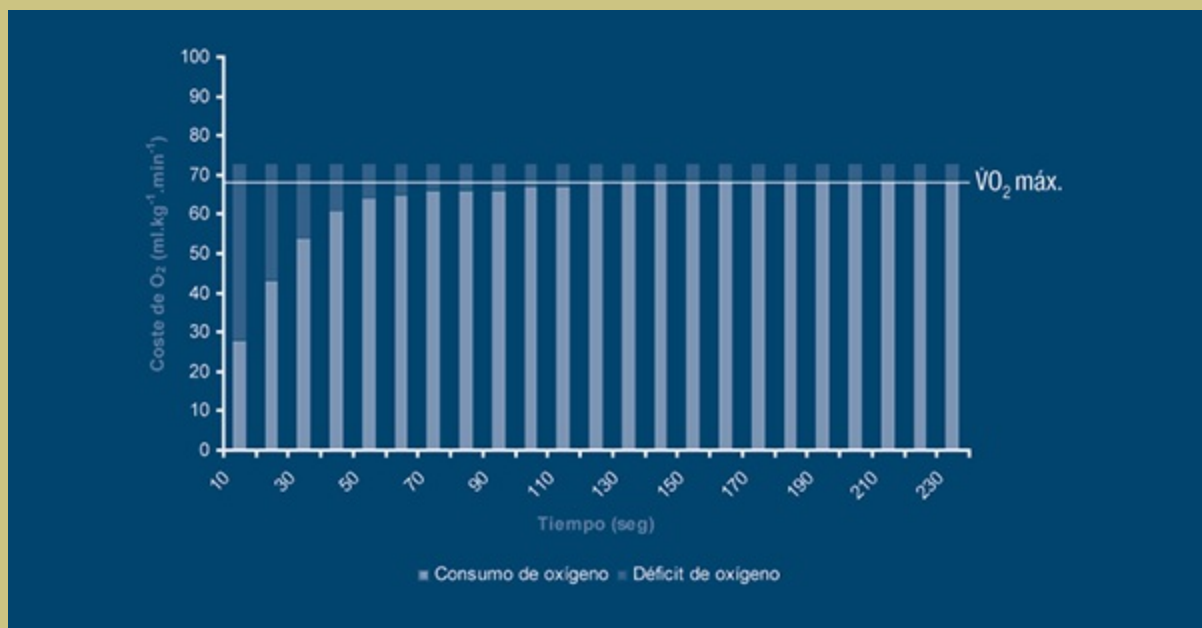


FIGURA 4.19. Cinética del VO_2 y déficit de O_2 en una carrera de 1.500 m (~230 seg).

El requerimiento energético en un esfuerzo de ~230 seg puede ser satisfecho casi totalmente mediante el metabolismo aeróbico, si exceptuamos la parte inicial, en la que el deportista requiere ~1 min para manifestar su VO_2 máx. **FIGURA 4.19. Cinética del**

Adaptado de Spencer MR y Gastin PB. Med Sci Sports Exerc 2001;33:157-62.

Velocidad aeróbica máxima y tiempo límite a velocidad aeróbica máxima

La figura 4.20 es representativa de la diferenciación entre el VO_2 máx. (proceso fisiológico) y la velocidad aeróbica máxima (VAM) (proceso mecánico). En 1923, Hill y Lupton definieron el VO_2 máx. al observar que el VO_2 aumentaba de forma directamente proporcional a la intensidad del esfuerzo, hasta alcanzar un nivel a partir del cual, a pesar de seguir aumentando la intensidad, se evidencia un **aplanamiento de la relación VO_2 /intensidad** (Billat y Koralsztein, 1996). Así, el deportista, cuando realiza un esfuerzo de baja intensidad, es capaz de satisfacer la demanda energética utilizando un bajo porcentaje de su potencial aeróbico. El porcentaje de VO_2 máx. utilizado aumenta de forma lineal a la intensidad del esfuerzo. En el ejemplo de la figura 4.20, a una velocidad de $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ la deportista tiene que desarrollar su potencial oxidativo máximo. Inevitablemente, cuando la deportista ya ha alcanzado su VO_2 máx., debe ser satisfecho un aumento de intensidad (p. ej., $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), además de por todo el potencial oxidativo, por energía extra derivada del metabolismo anaeróbico. El concepto **velocidad aeróbica máxima** fue introducido por Daniels *et al.*, (1986) para definir la mínima velocidad correspondiente al VO_2 máx. durante una prueba de esfuerzo incremental (Billat y Koralsztein, 1996). Así, en el ejemplo expuesto, la deportista demanda su VO_2 máx. a 18 y $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Sin embargo, la mínima velocidad requerida para su VO_2 máx. y, por tanto, su VAM es $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Lógicamente, en deportes en los que la intensidad se establece mediante otros parámetros, por ejemplo, mediante la potencia desarrollada (W), especificaremos la potencia aeróbica máxima (WAM).

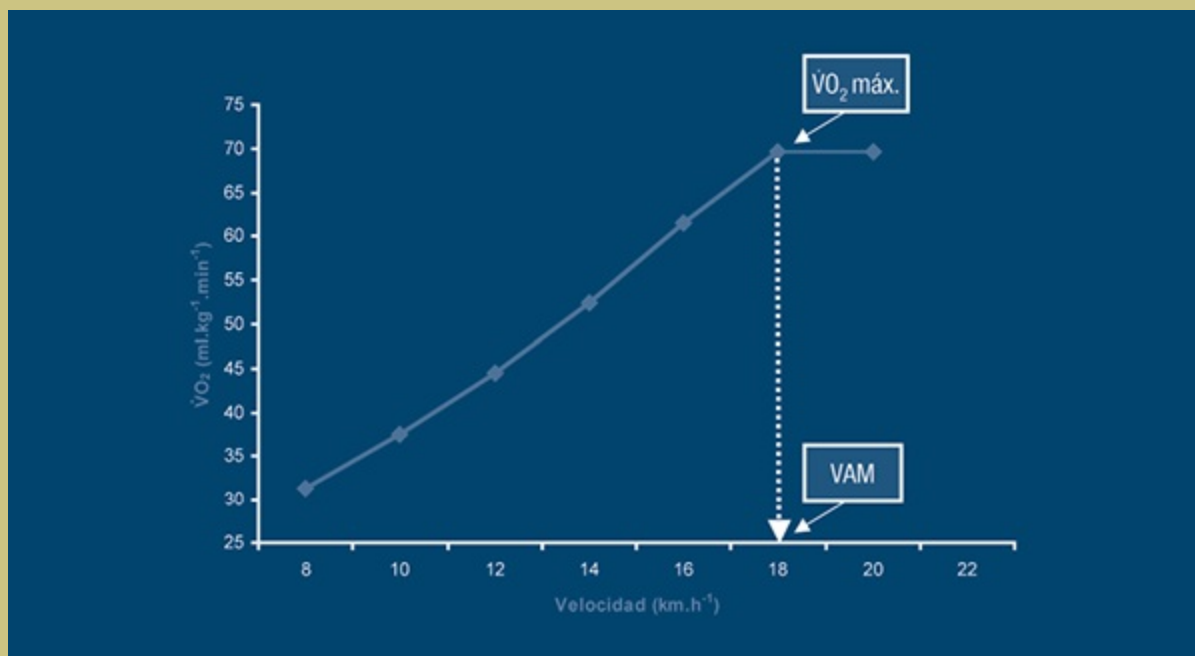


FIGURA 4.20. Representación del concepto de VAM. Si la intensidad es relativamente baja para el deportista, únicamente necesita un bajo porcentaje de su VO₂ máx. para satisfacer el requerimiento energético. Al aumentar la intensidad se incrementa de forma lineal la necesidad de VO₂ hasta que el deportista manifiesta a una determinada velocidad su VO₂ máx. Una intensidad superior a la correspondiente al VO₂ máx. va a requerir lógicamente, además del VO₂ máx. del deportista, energía extra del metabolismo anaeróbico. La velocidad mínima en que se manifiesta el VO₂ máx. se define como la VAM, en este caso 18 km·h⁻¹.

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

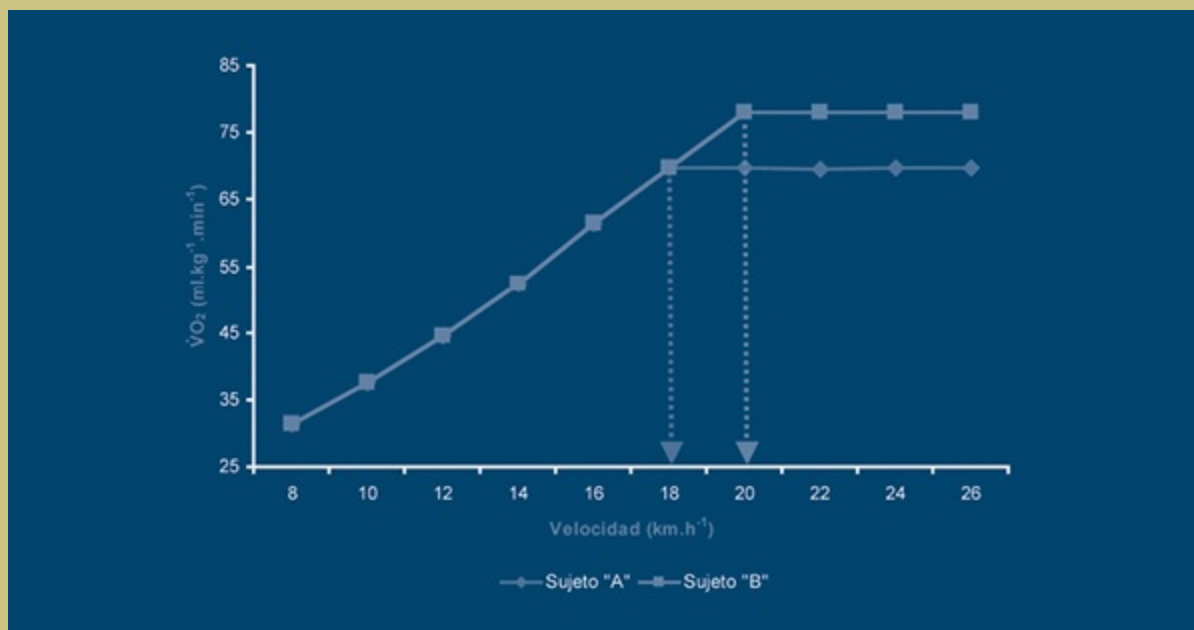


FIGURA 4.21. Relación entre el VO₂ máx. y la VAM. El deportista que dispone de un mayor VO₂ máx. consigue desarrollar una mayor VAM.

Original de los autores con datos hipotéticos.

La **VAM** es dependiente del **VO₂ máx.** Así, deportistas que se diferencian significativamente en su VO₂ máx. desarrollan diferente VAM (figura 4.21). Sin embargo, dos deportistas con VO₂ máx. equivalente pueden desarrollar distinta VAM debido a que difieren fundamentalmente en el aprovechamiento del VO₂ sobre la ejecución motriz, **economía de esfuerzo** (figura 4.22). Una VAM elevada corresponde, por tanto, a deportistas con un elevado VO₂ máx. que aprovechan eficientemente la energía para desarrollar la ejecución motriz requerida (figura 4.23).

Teóricamente, un deportista podría desplazarse a su correspondiente **VAM** mientras no existiese un agotamiento de las reservas energéticas. Como el VO₂ máx. se obtiene a partir de la degradación aeróbica de los hidratos de carbono y sus reservas permiten realizar un esfuerzo de ~1 h, esta temporalidad sería la que teóricamente un deportista podría mantener a su VAM. Sin embargo, existe la paradoja de que a una intensidad inferior a la correspondiente a la VAM y, por consiguiente, que ni tan siquiera demanda el potencial oxidativo del deportista, el requerimiento energético debe ser

satisfecho parcialmente por el **metabolismo anaeróbico láctico** (véase el concepto de umbral anaeróbico). En consecuencia, a la intensidad correspondiente a la VAM, en la que teóricamente no debería haber acumulación de lactato, numerosos estudios han mostrado que el deportista tiene que tolerar una concentración de lactato de $\sim 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Esta concentración de lactato es determinante de que el tiempo límite (Tlím) que el deportista es capaz de mantener a su VAM (**Tlím a VAM**) se vea reducido considerablemente. Billat *et al.*, (1995a) observaron que el Tlím a VAM en corredores de elite de media maratón fue $321 \pm 83 \text{ seg}$. Los autores observaron que pequeñas variaciones respecto a la VAM determinaban importantes diferencias en la duración del esfuerzo. Así, el Tlím al 105% del VO_2 máx. fue únicamente $176 \pm 40 \text{ seg}$, mientras que el Tlím al 90% del VO_2 máx. se incrementó a $1.015 \pm 266 \text{ seg}$. Faina *et al.*, (1997) indicaron que el promedio de Tlím a VAM en deportistas de elite de ciclismo, natación y kayak era $\sim 5\text{-}6 \text{ min}$, con pequeñas variaciones entre deportes y un intervalo elevado entre deportistas (150-500 seg). Bosquet *et al.*, (2002), en un trabajo de revisión, nos presentan los datos de 26 estudios que determinaron el Tlím a VAM en cinta ergométrica, cicloergómetro o en pruebas de campo (figura 4.24). El promedio de Tlím a VAM de todos los estudios fue 5 min y 55 seg, con un intervalo entre estudios de 3 min y 50 seg a 8 min y 24 seg. El promedio de VO_2 máx. de los 26 estudios fue $65,36 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, lo que demuestra un nivel condicional aceptable en las muestras de sujetos analizadas. Además, contrariamente a lo observado por Faina *et al.*, (1997), los sujetos con mayor VO_2 máx. no desarrollaban necesariamente un menor Tlím a VAM, lo que demuestra que un deportista puede obtener valores óptimos en ambos factores de rendimiento. Así, la **VAM y el Tlím a VAM** representan el **límite fisiológico inferior** para la **zona de eficiencia anaeróbica**. A mayor VAM y Tlím a VAM, mayor intensidad absoluta puede desarrollarse en la zona de eficiencia anaeróbica.

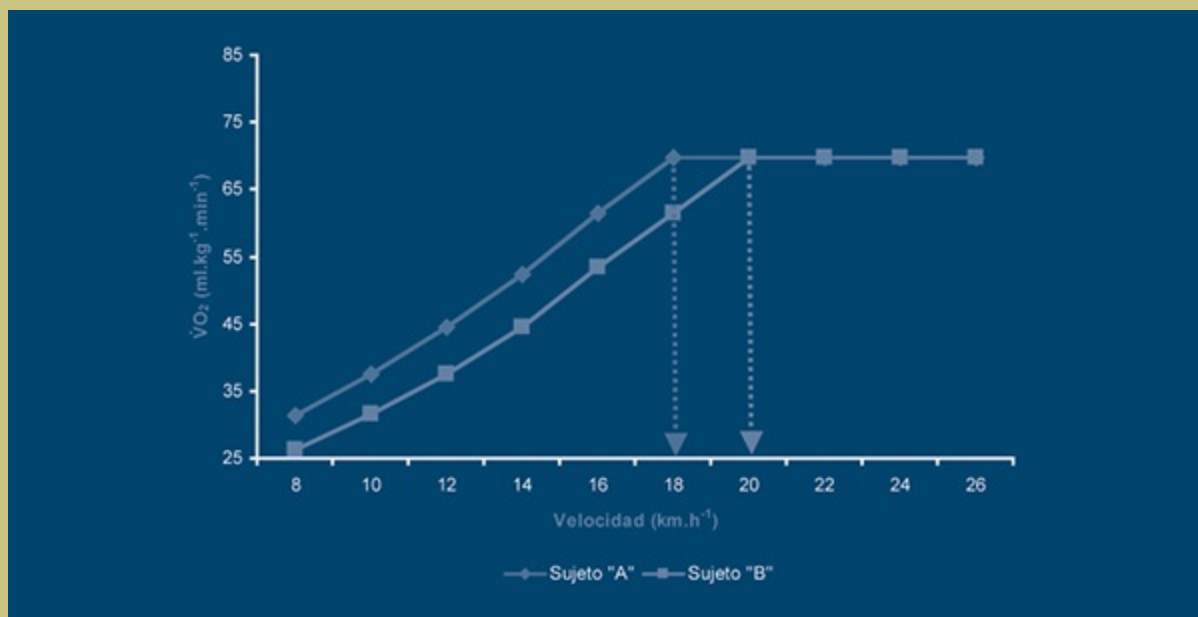


FIGURA 4.22. Relación entre el coste energético submáximo y la VAM. El deportista que dispone de una mejor economía de esfuerzo consigue desarrollar una mayor VAM a pesar de que ambos deportistas tienen un VO₂ máx. equivalente.

Original de los autores con datos hipotéticos.

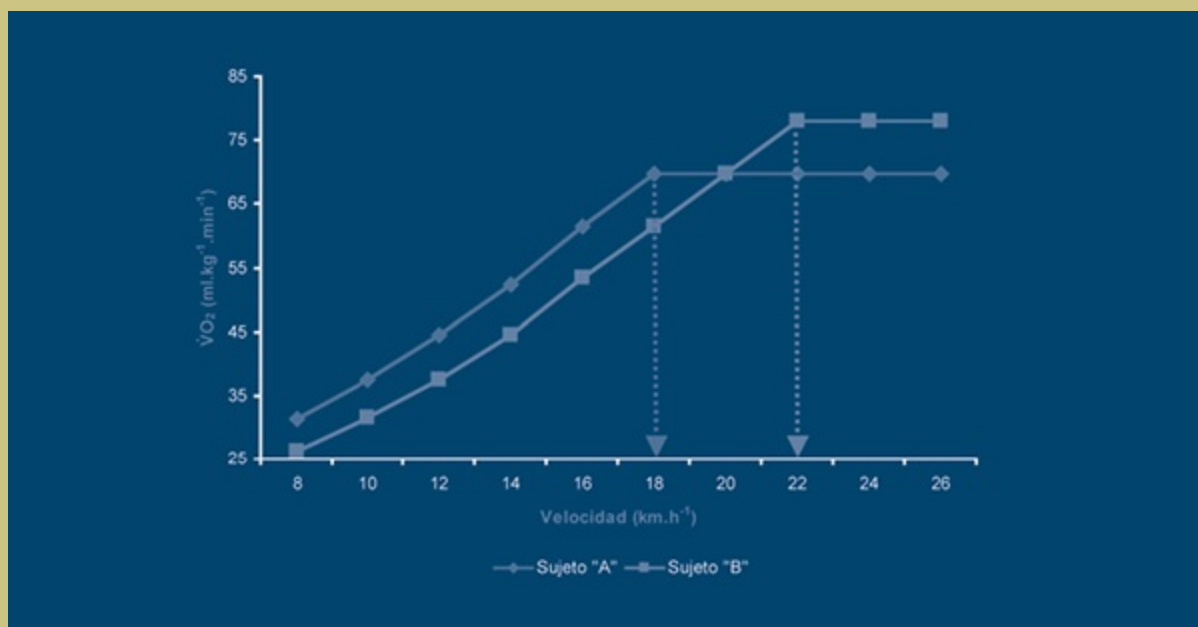


FIGURA 4.23. Procesos fisiológicos óptimos para manifestar una elevada VAM.

Lógicamente, para manifestar una mayor VAM, lo ideal es disponer de un VO_2 máx. elevado y de una óptima economía de esfuerzo.

Original de los autores con datos hipotéticos.

Tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones muy altas, altas y medias

La **concentración de lactato** en el músculo determina la intensidad y la duración del esfuerzo que puede desarrollar un deportista. Habitualmente, en el ámbito competitivo la duración o la distancia de competición están determinadas previamente, diferenciándose los deportistas por la intensidad que son capaces de desarrollar. Consiguientemente, el grado de variación existente en la concentración de lactato entre deportistas y en un mismo deportista para una determinada duración o distancia de competición es limitado. Sin embargo, uno de los factores determinantes de la intensidad del esfuerzo desarrollada por un deportista es su capacidad de tolerancia a una misma concentración de lactato. Un deportista con menor inhibición de la contracción muscular para una misma concentración de lactato podrá mantener la intensidad durante más tiempo o incrementar la intensidad para una duración o distancia establecidas.

En todos los **esfuerzos que demandan energía superior al VO_2 máx.**, el deportista debe completar la prueba tolerando la acidez inducida por la concentración de lactato en el músculo. Sin embargo, la concentración de lactato a tolerar, la velocidad de contracción muscular requerida y el tiempo de tolerancia varían significativamente en función de la duración de los esfuerzos.

En los estudios de Hirvonen *et al.*, (1992, 1987) se observó un incremento lineal de la concentración de lactato en pruebas de 100 y 400 m (figuras 4.12 y 4.13). Estos resultados se confirman en el análisis realizado en entrenamientos y competiciones oficiales para el intervalo de carreras de atletismo de 30 a 3.000 m (Legaz-Arrese, 2000) (figura 4.25). La concentración sanguínea de lactato se incrementa progresivamente al aumentar la distancia de carrera desde los 30 m hasta los 400 m. En las distancias de 800, 1.500 y 3.000 m la concentración de lactato es ligeramente inferior a la observada en un esfuerzo de 400 m.

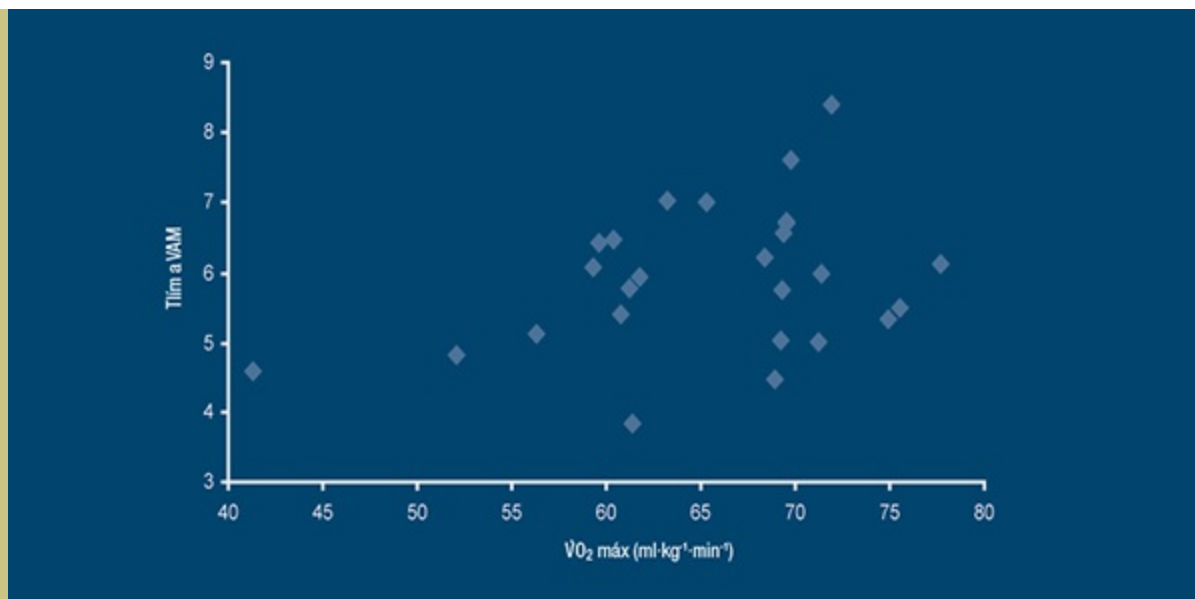


FIGURA 4.24. Promedio de Tlím a VAM en 26 estudios. El Tlím que los deportistas pueden aguantar a la intensidad correspondiente a la VAM difiere entre los deportistas un intervalo aproximado de 3-8 min para un promedio de ~ 6 min. Esto implica que esfuerzos inferiores a ~ 6 min se desarrollan a una intensidad superior a la que puede satisfacer el VO₂ máx. y que en esfuerzos superiores a ~ 6 min sólo se puede manifestar un determinado %VO₂ máx.

Elaborado con datos de Bosquet L et al. Sports Med 2002;32:675-700.

Según los estudios de Hirvonen *et al.*, (1987) y Legaz-Arrese (2000), únicamente en los últimos metros de una carrera de 100 m (~10 seg) el deportista necesita desarrollar una velocidad de contracción muscular muy elevada, durante muy poco tiempo, con una concentración de lactato de ~ 8-12 mmol·l⁻¹. Debido al poco tiempo que el deportista tiene que tolerar estos niveles de lactato, es probable que su tolerancia no sea un factor determinante del rendimiento en esfuerzos de ~10 seg. Una concentración de lactato similar (~ 8 mmol·l⁻¹), aunque con un requerimiento energético mucho menor, la toleran los deportistas que realizan un esfuerzo correspondiente al Tlím a VAM (~ 6 min). El análisis de los datos para una distancia superior, 200 m (~ 20 seg), se ve limitado al número de sujetos analizados en el estudio de Legaz-Arrese (2000): 2 hombres (promedio de 9,4 mmol·l⁻¹) y 2 mujeres (promedio de 15,7 mmol·l⁻¹). Según estos datos y las limitaciones del metabolismo aláctico y aeróbico en la contribución energética de un esfuerzo de 20 seg, se puede deducir que en los últimos 10-12 seg el deportista tiene

que tolerar una concentración de lactato de $\sim 8\text{-}15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, ante una demanda energética muy elevada, que debe satisfacer durante poco tiempo. Globalmente, este análisis implica que en los últimos metros de una carrera de 100 m, y especialmente en los últimos 100 m de una carrera de 200 m (**~ 7 a 20 seg**), el deportista necesita desarrollar una velocidad de contracción muscular muy elevada, durante poco tiempo, con una concentración de lactato media-alta (**$\sim 815 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$**).

En el estudio de Hirvonen *et al.*, (1992) se observó un incremento lineal de la concentración de lactato de los 20 a los 30-35 seg de una carrera de 400 m (~ 45 seg). Aunque el ritmo de acumulación de lactato desciende en los últimos 100 m de esta prueba, la mayor concentración de lactato se evidencia al finalizar el esfuerzo. Estos resultados se confirman en el estudio de Legaz-Arrese (2000), observándose tanto en hombres como en mujeres un promedio de lactato significativamente superior al especificado en distancias inferiores ($\sim 1821 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), con valores máximos en algunos deportistas superiores a $25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. La concentración de lactato al finalizar una carrera de 800 m (~ 1 min y 45 seg) es similar a la encontrada en una carrera de 400 m (promedio en hombres de $18,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, promedio en mujeres de $20,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Según estos datos, la principal diferencia entre ambas pruebas respecto al metabolismo anaeróbico está asociada la **ratio de producción/eliminación de lactato por unidad de tiempo**, que es muy superior en la prueba de 400 m. Probablemente, si el esfuerzo en la competición de 800 m se realizase a una intensidad constante, la concentración de lactato al finalizar la prueba sería ligeramente inferior ($\sim 16\text{-}18 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Según estos datos, en esfuerzos de **20 seg a 2 min** el deportista necesita mantener durante no mucho tiempo una elevada velocidad de contracción muscular, tolerando concentraciones de lactato muy altas (**$\sim 15\text{-}24 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$**).

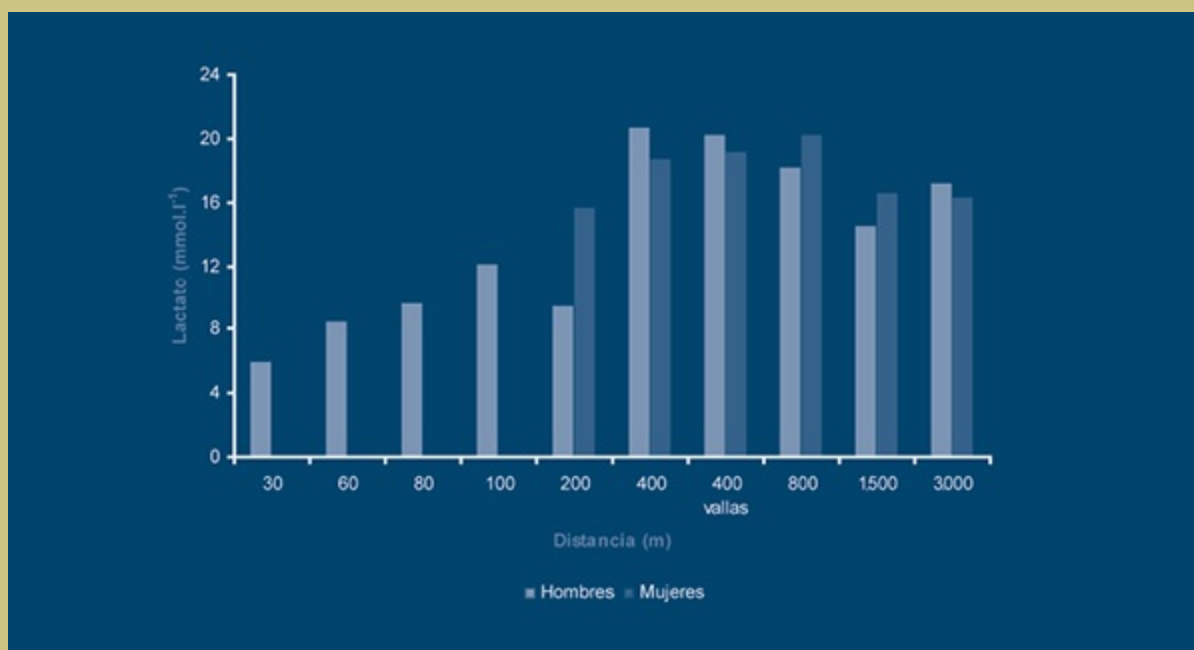


FIGURA 4.25. Concentración de lactato en corredores de elite en el intervalo de 30 a 3.000 m. La concentración de lactato durante la recuperación se incrementa progresivamente en la ejecución de esfuerzos de 30 a 400 m. En distancias superiores, la concentración de lactato es ligeramente inferior. Véase el texto para un análisis más detallado de esta evolución y para comprender los factores que pueden modificar la concentración de lactato para una determinada distancia o duración de esfuerzo.

Adaptado de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Teóricamente, la concentración de lactato al finalizar esfuerzos de 2 a 6 min debe aproximarse, respectivamente, a valores de 15 y 8 mmol·l⁻¹. Este intervalo de la concentración de lactato está determinado por los valores observados en una carrera de 800 m y los observados durante la ejecución de un Tlím a VAM (~ 6 min). Sin embargo, en el mencionado estudio de Legaz-Arrese (2000), el promedio de concentración de lactato al finalizar una carrera de 1.500 m (~ 3 min y 40 seg en hombres y ~ 4 min y 10 seg en mujeres) fue 14,6 mmol·l⁻¹ en hombres y 16,6 mmol·l⁻¹ en mujeres. Similar concentración de lactato se observó incluso para una distancia de 3.000 m (~ 8 min en hombres y ~ 9 min y 30 seg en mujeres). Estos valores son significativamente inferiores a los especificados en esfuerzos de 20 seg a 2 min, pero son superiores a los teóricamente previstos. Aunque en algunas distancias los resultados no son concluyentes debido al número de sujetos, probablemente la táctica de competición ha condicionado los valores

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

encontrados. En los estudios que determinan la concentración de lactato al valorar el Tlím a VAM, la velocidad es constante durante todo el esfuerzo, precisamente la VAM. De todas las duraciones de esfuerzo, las de mayor componente táctico y variaciones de intensidad en competición son las comprendidas entre 2 y 6 min (Tucker y Noakes 2009; Tucker *et al.*, 2006). Esto determina que habitualmente la velocidad en los últimos 30 seg de competición se asemeje a la desarrollada en un esfuerzo de 45 seg, determinando una concentración de lactato mucho más elevada que la correspondiente a una velocidad media de desplazamiento para toda la prueba. Según este análisis, en esfuerzos de **2 a 6 min** realizados a **intensidad constante**, el deportista necesita mantener relativamente más tiempo una velocidad de contracción muscular relativamente menos elevada, tolerando una concentración de lactato media-alta (**~ 15 mmol·l⁻¹ en esfuerzos de 2 min**, y **~ 8 mmol·l⁻¹ en esfuerzos de 6 min**). En cambio, en esfuerzos de **2 a 6 min** ejecutados a **intensidad variable**, según los condicionantes tácticos, el deportista necesita mantener relativamente poco tiempo una elevada velocidad de contracción muscular, tolerando concentraciones de lactato altas (**~ 14-17 mmol·l⁻¹**).

La tabla 4.1 especifica las características más relevantes de la tolerancia al lactato en los esfuerzos que demandan energía superior a la aportada por el VO₂ máx.

TABLA 4.1. Tolerancia al lactato en los esfuerzos que demandan energía superior al VO₂ máx.

	<i>Concentración de lactato</i>	<i>Tiempo de tolerancia</i>	<i>Velocidad de contracción muscular requerida</i>
7-20 seg	Media-alta (8-15 mmol·l ⁻¹)	Muy breve	Muy rápida
20 seg-2 min	Muy alta (15-24 mmol·l ⁻¹)	Breve	Rápida
2-6 min	Media-alta (15-8 mmol·l ⁻¹)	Medio	Media

Original de los autores.

Economía de esfuerzo

La **economía de esfuerzo** determina en qué medida el deportista gestiona de forma eficaz el potencial de que dispone. De acuerdo con Daniels (1985), eficiente se refiere a la relación entre el trabajo realizado y la energía gastada.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Globalmente, la optimización de la economía de esfuerzo depende de la aplicación eficaz del gesto motor y del menor **gasto energético** en los distintos procesos fisiológicos. La economía de esfuerzo es, por consiguiente, un indicador de la interrelación entre los parámetros fisiológicos y los mecánicos.

Los indicadores de la economía de esfuerzo deben ser específicos del metabolismo y la motricidad de la competición. Como representa la figura 4.26, para un esfuerzo de ~10 seg, a igualdad de otros parámetros fisiológicos y mecánicos, un deportista con una mejor economía de esfuerzo requiere un menor ratio de degradación de la PCr en los primeros segundos de esfuerzo, lo que le permitirá desarrollar una mayor velocidad que otro deportista en la parte final de la prueba debido a que los depósitos de PCr son limitantes del rendimiento.

Como se ha especificado, en esfuerzos de 10 a 60 seg el metabolismo anaeróbico, fundamentalmente láctico, suple la lentitud de aportación energética del metabolismo aeróbico, además del nivel de energía extra requerida para desarrollar la intensidad del esfuerzo. En esfuerzos más prolongados, hasta que la duración se corresponde con el Tlím a VAM, el deportista, además de requerir el VO_2 máx., necesita energía del metabolismo anaeróbico para satisfacer la demanda energética. Asumiendo como equivalente la cinética del VO_2 de dos deportistas, el que tenga mejor economía de esfuerzo desarrollará mayor velocidad de desplazamiento para un mismo consumo energético, o bien para una misma velocidad de desplazamiento requerirá menor energía del metabolismo anaeróbico láctico, lo que le permitirá incrementarla durante la parte final del esfuerzo (figura 4.27).

Fuerza resistencia

La aplicación de **fuerza resistencia** es inherente a todos los esfuerzos continuados que requieren la capacidad de resistencia. La manifestación de fuerza resistencia en los esfuerzos continuados es dependiente de la magnitud de fuerza aplicada en cada ciclo de movimiento y de la frecuencia de ciclos. La optimización de la fuerza resistencia para estas modalidades deportivas está asociada fundamentalmente al desarrollo de un nivel óptimo de fuerza máxima (véase el capítulo 3). Un mayor nivel de fuerza máxima es inherente a que en cada ciclo de movimiento el deportista requiera un menor porcentaje

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de fuerza máxima para desplazarse a la misma velocidad. Esto determina una mayor participación de fibras lentas que se asocia prioritariamente a una mejora de la economía de esfuerzo. Un incremento de los niveles de fuerza resistencia para los esfuerzos continuados que requieren energía superior a la aportada por el VO_2 máx. implica finalmente que el deportista precise menor eficiencia anaeróbica para ir a una misma velocidad de desplazamiento y, en consecuencia, que pueda aumentar la velocidad en cualquier momento de la competición.

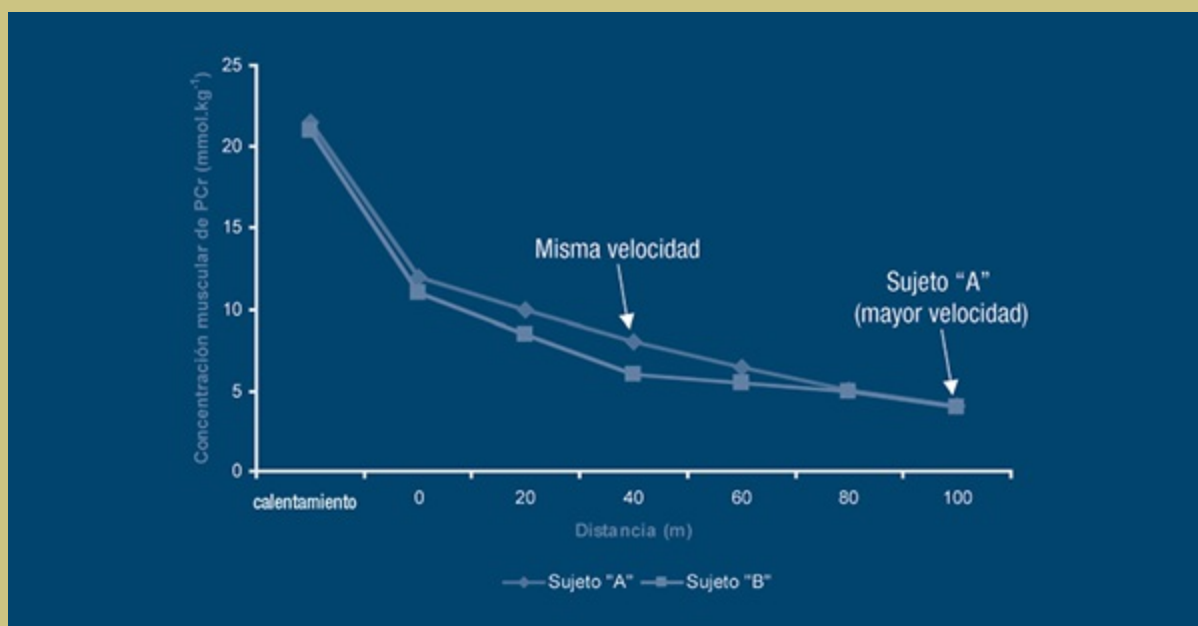


FIGURA 4.26. Implicación de la economía de esfuerzo en el metabolismo y el rendimiento en un esfuerzo de ~10 seg. Obsérvese en esta figura didáctica, aprovechando el análisis mostrado anteriormente sobre una carrera de 100 m, que para un esfuerzo de esta duración, si un deportista tiene mejor economía de esfuerzo, puede desarrollar en la parte inicial de la prueba la misma velocidad que otro deportista pero requiriendo menor cantidad de energía; en este caso, una menor degradación de PCr. Este ahorro energético le permitirá desarrollar en la segunda parte de la prueba mayor velocidad de desplazamiento.

Original de los autores con datos hipotéticos.

2.3. Conceptos fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos que demandan energía inferior al

consumo máximo de oxígeno

Umbral anaeróbico, máximo estado estable de lactato y tiempo límite a velocidad del umbral anaeróbico

El **umbral anaeróbico** (Uan) es un proceso fisiológico complejo en su conceptualización y determinación. Este proceso es continuamente debatido en la literatura científica, como se refleja en la recopilación que Tokmakidis realizó en su tesis doctoral, estableciendo 22 términos mediante técnicas invasivas y 15 mediante técnicas no invasivas para describir el Uan (Bosquet *et al.*, 2002). El Uan se puede definir como la intensidad límite a partir de la cual se producen cambios metabólicos, cardiorrespiratorios, neuromusculares y neuroendocrinos significativos. Los cambios más estudiados son el punto de ruptura lineal de la relación entre volumen de CO₂ y de O₂ (**Uan ventilatorio**, VT) (Wasseman y McIlroy, 1964) (figura 4.28) y el punto de ruptura en el que se evidencia una acumulación significativa de lactato sanguíneo respecto a los valores de reposo (**Uan láctico**, LT) (Simon *et al.*, 1981; Stegmann *et al.*, 1981; Keul *et al.*, 1979) (figura 4.29).

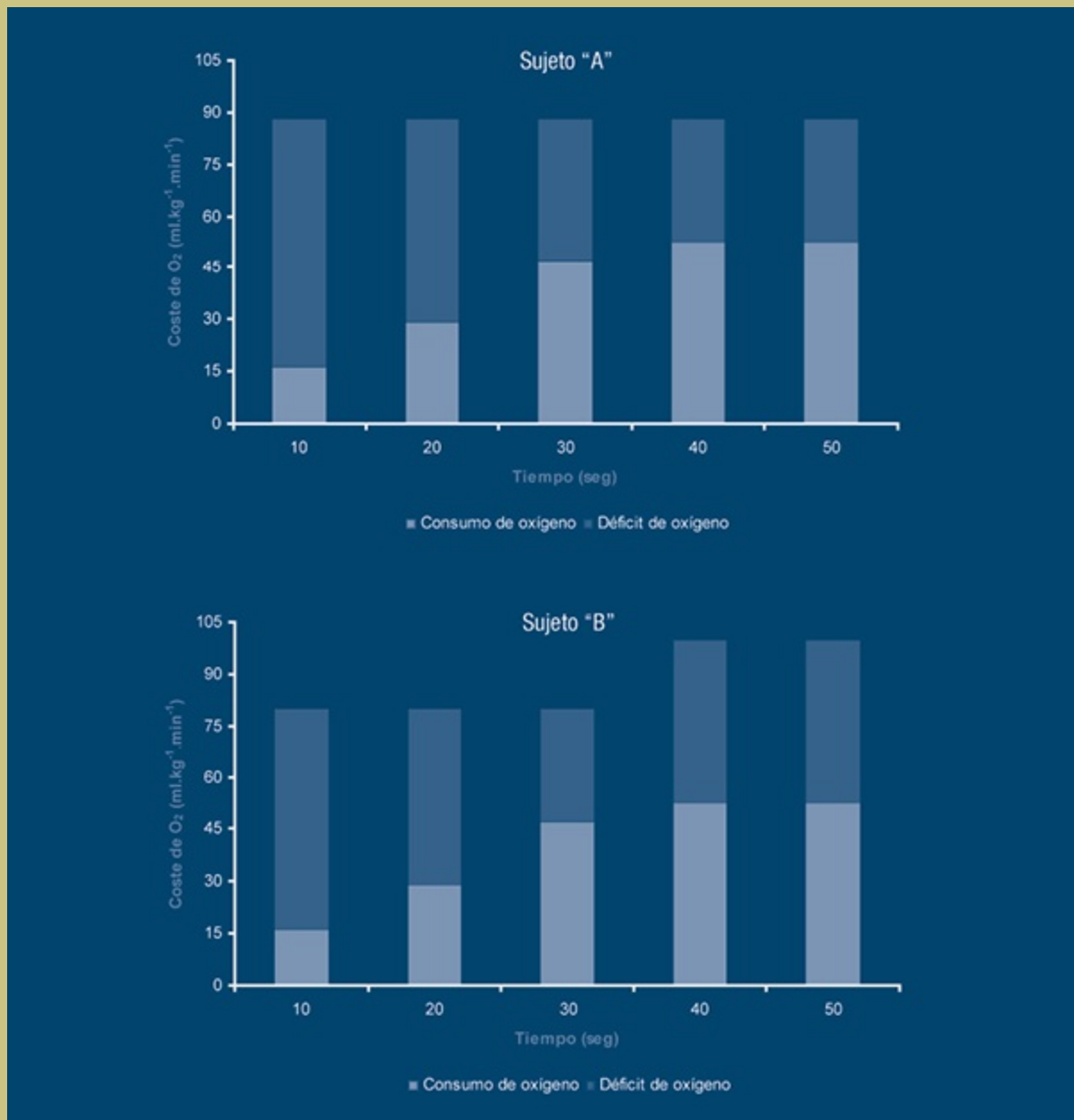


FIGURA 4.27. Implicación de la economía de esfuerzo sobre el metabolismo y el rendimiento en esfuerzos de ~20 seg a 6 min. Para este intervalo de duración de esfuerzo, ejemplificado para una duración de 50 seg, el sujeto "B", que dispone de una mejor economía, solicita para ir a la misma velocidad de desplazamiento en la parte inicial de la prueba un menor requerimiento energético que el sujeto "A", en este caso asociado a una menor participación del metabolismo anaeróbico. Esto le permitirá afrontar la segunda parte del esfuerzo con menor concentración de lactato, pudiendo desarrollar un mayor requerimiento energético asociado a mayor velocidad de desplazamiento.

Original de los autores con datos hipotéticos.

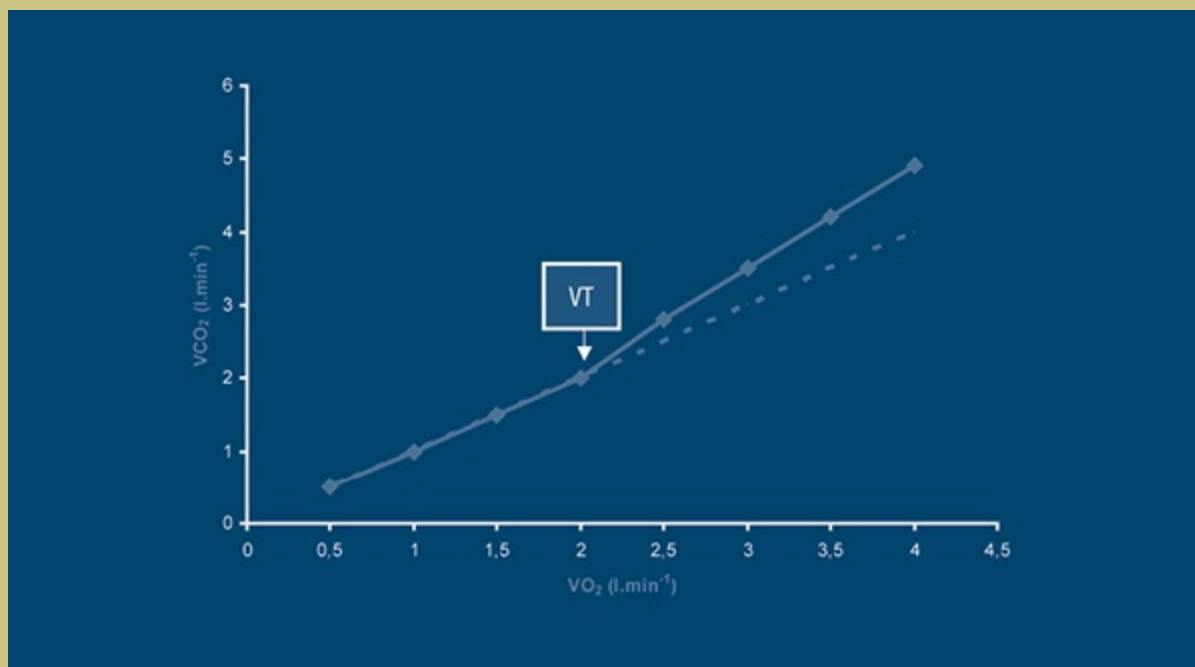


FIGURA 4.28. Representación del Uan ventilatorio (VT). Identificación del umbral anaeróbico ventilatorio en el punto en que se pierde la linealidad entre el VO₂ y el VCO₂.

Adaptado de Wasserman K y Mcilroy MB. Am J Cardiol 1964;14:844-52.

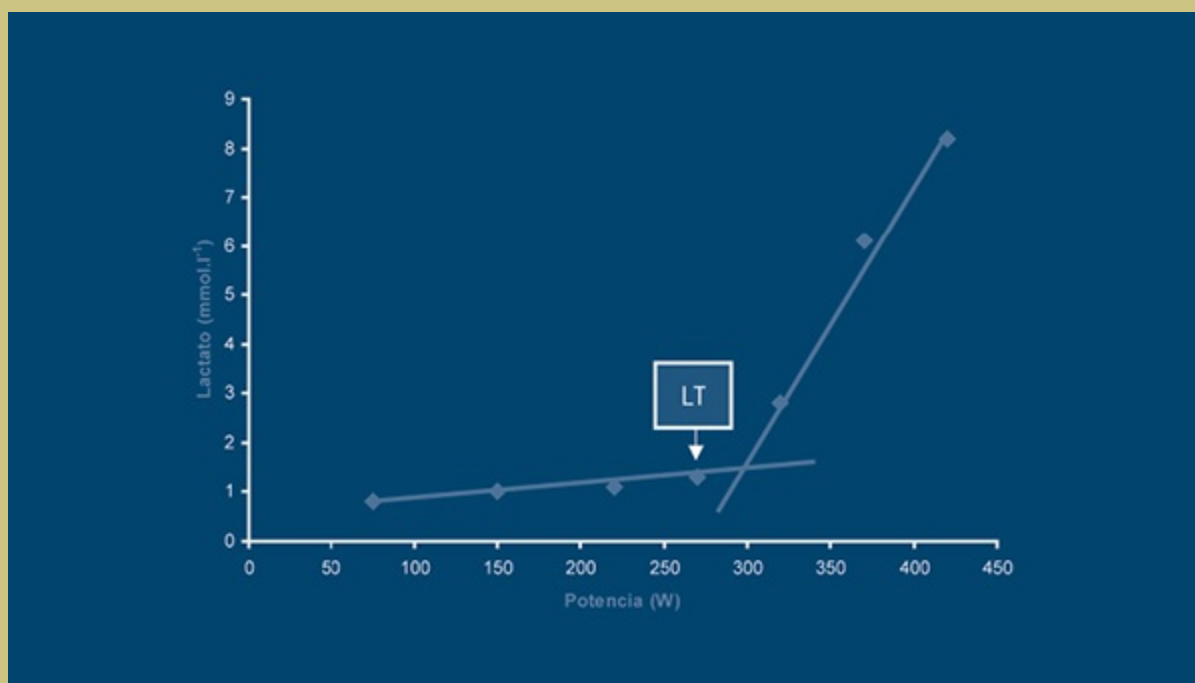


FIGURA 4.29. Representación del Uan láctico (LT). Identificación del umbral anaeróbico láctico con el método original en la intensidad o carga anterior a la que se produce un aumento significativo o punto de ruptura en la concentración de lactato.

Adaptado de Terreros JL y Navas F. Valoración funcional. Gymnos, 2003.

Mader *et al.*, (1976) indicaron que el punto de ruptura láctico se sitúa a una concentración de **4 mmol·l⁻¹** (figura 4.30). Este modelo de determinación del Uan, conocido como **onset of blood lactate accumulation** (OBLA), ha sido utilizado posteriormente por otros grupos de investigación (Heck *et al.*, 1985; Sjödín y Jacobs, 1981) y se ha extendido en el ámbito del entrenamiento deportivo. Como analizaremos posteriormente, el concepto OBLA es científicamente erróneo. Sin embargo, dada la variedad de métodos utilizados para determinar el Uan, con el fin de seguir un criterio didáctico fijo, utilizaremos en este manual el concepto OBLA para situar el Uan de los deportistas a una concentración fija de 4 mmol·l⁻¹. Para el análisis de aspectos concretos, definiremos otros métodos de determinar el Uan.

A pesar de las controversias sobre el término, no hay discusión respecto a la importancia del Uan para el entrenamiento y rendimiento en esfuerzos de larga duración. Teóricamente, el **Uan** está asociado a la intensidad que el deportista puede mantener de forma estable, determinada en parte por una equivalencia en la **producción y eliminación de lactato**. De esta forma, un deportista que se desplaza a una intensidad superior a la correspondiente a su velocidad de Uan (VUan) está limitado en la duración del esfuerzo por un desequilibrio de la *ratio* producción/eliminación de lactato. La **VUan** está situada a una intensidad inferior a la **VAM** (figura 4.30). Por este motivo, como previamente se ha especificado, a intensidades que no requieren el VO₂ máx. del deportista existe una concentración significativa de lactato que limita la duración del esfuerzo. En cambio, teóricamente un deportista que realiza un esfuerzo a la VUan mantendrá constante la concentración de lactato, estando limitada la duración del esfuerzo por otros factores como las reservas de los depósitos de glucógeno, el desequilibrio térmico e hidroelectrolítico, etc. En deportes en los que la intensidad se establece mediante otros parámetros, por ejemplo, mediante la potencia (W) desarrollada, especificaremos la potencia del Uan (WUan).

El Uan se determina habitualmente en protocolos en los que la duración del esfuerzo en cada intensidad es 1-3 min (véase el apartado 6). Difícilmente esta temporalidad puede reflejar la situación metabólica del deportista. Por

este motivo, diversos autores establecen la necesidad de una mayor duración del esfuerzo para determinar el estado estable real de equilibrio en la concentración de lactato. Bajo esta perspectiva, surge un nuevo concepto asociado al Uan, **maximum lactate steady state** (MLSS) (Margaria *et al.*, 1963), que por definición corresponde a la intensidad en que la concentración de lactato varía menos de $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en los últimos 20 min de un esfuerzo constante de 30 min (Heck *et al.*, 1985). Como se especifica en el apartado 6, para considerar que una determinada intensidad corresponde al MLSS del deportista, la duración del esfuerzo y el máximo incremento de lactato recomendado varían sensiblemente entre los diferentes estudios.

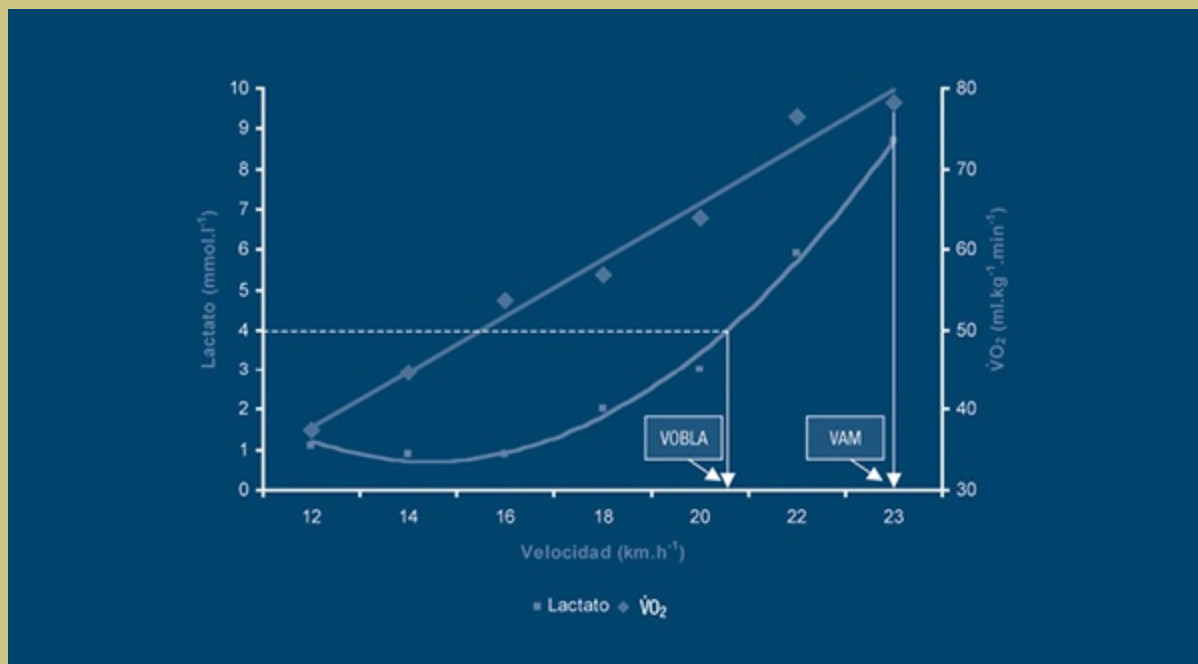


FIGURA 4.30. Representación del Uan OBLA a una intensidad inferior a la VAM. Identificación del Uan OBLA a la intensidad correspondiente a una concentración fija de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; el Uan se evidencia a una intensidad significativamente inferior a la VAM. OBLA = *onset of blood lactate accumulation* (inicio de la acumulación de lactato en la sangre).

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Nosotros consideramos que los conceptos de **Uan** y de **MLSS** son equivalentes. En realidad, ambos intentan determinar el mismo proceso fisiológico, la intensidad correspondiente a un equilibrio en la *ratio*

producción/eliminación de lactato. La diferencia realmente es específica para los diversos métodos que, tanto para la valoración del Uan como del MLSS, han propuesto los diferentes autores para identificar este proceso fisiológico. De forma general, y como criterio didáctico, identificaremos este proceso con el concepto de Uan. Sin embargo es evidente que cuanto mayor sea la duración del esfuerzo valorada a cada intensidad, con mayor exactitud se podrá determinar una situación metabólica estable. Por tanto, parcialmente son la rapidez y la economía de esfuerzos en la obtención de los datos los que realmente han influido en el método de valoración del Uan.

De forma equivalente al Tlím a VAM, consideramos que existe para un mismo método de valoración de la VUan un **Tlím a VUan** que es diferenciador del nivel de rendimiento de los deportistas. Lógicamente el Tlím a VUan va a diferir significativamente como consecuencia de la gran variación que existe en la VUan en función del método utilizado para su valoración. Desafortunadamente muy pocos estudios han establecido el Tlím a VUan. De hecho, que nosotros sepamos, únicamente se ha establecido el Tlím a la velocidad del MLSS (Tlím a VMLSS). En ciclistas (Baron *et al.*, 2008) y en corredores (Billat, 1996) se ha observado que el Tlím a VMLSS es ~1 h. Recientemente, Billat *et al.*, (2003) determinaron en un grupo de corredores veteranos el MLSS de forma indirecta mediante el test de Billat (1994) (véase el apartado 6). El Tlím a VMLSS fue 40 min. Después de un período de 6 semanas de entrenamiento, la VMLSS aumentó en $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, el Tlím a VMLSS en 20 min y la concentración de lactato al finalizar el esfuerzo en $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ (figura 4.31). Estos datos revelan que el Tlím al MLSS es sensible a los efectos del entrenamiento y probablemente diferenciador del nivel de rendimiento de los deportistas. De especial relevancia es que la concentración de lactato se incrementó en el curso del esfuerzo. Consiguientemente, en este estudio la VMLSS determinada indirectamente no reflejó una situación metabólica estable asociada a un equilibrio de la *ratio* de producción/eliminación de lactato. Mediante la determinación directa de la VMLSS, los resultados de nuestro laboratorio muestran que durante la ejecución de un Tlím a VMLSS la concentración de lactato aumenta con la duración del esfuerzo. Aunque en un estudio se han observado concentraciones de lactato estables durante la ejecución de un Tlím a VMLSS (Baron *et al.*, 2008), el incremento de lactato con la duración del esfuerzo durante la ejecución de un Tlím a VMLSS parece coherente. Es lógico pensar que, si por definición la propia determinación de la VMLSS

permite un incremento de lactato de $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en los últimos 20 min de un esfuerzo de 30 min, se evidencie un aumento de mayor magnitud en un esfuerzo más prolongado como el correspondiente al Tlím a VMLSS. Además, también es lógico pensar que, aun asumiendo una situación metabólica estable durante la ejecución de un esfuerzo a la VMLSS, se desestabilice como consecuencia de la fatiga. Así, se ha demostrado que a una determinada velocidad el deportista tiene más dificultades para mantener el equilibrio térmico e hidroelectrolítico y la eficacia motriz conforme aumenta la duración del esfuerzo (Dal Monte y Faina, 1999). De hecho, está demostrado un incremento del coste energético asociado a la duración del esfuerzo (Dal Monte y Faina, 1999; Sproule, 1998; Brueckner, 1991). Especialmente interesante es que el desequilibrio metabólico asociado a la duración del esfuerzo probablemente se relaciona con el nivel del deportista. Así, Dal Monte y Faina (1999) (véase la figura 4.142) mostraron que después de correr 28 km el coste energético se incrementó en dos maratonianos, sin cambios en el deportista de mayor nivel de rendimiento.

Navarro y Legaz (1998) confirmaron los resultados de Tanaka *et al.*, (1984) al observar que la VOBLA ($19,25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) es significativamente superior a la que pueden desarrollar corredores masculinos de elite en una maratón ($\sim 2 \text{ h}$ y 10 min). Especialmente interesante es que los autores observaron que la VUan determinada por el **test 5 x 2.000 m modificado** ($18,95 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (test que establece la velocidad correspondiente a una situación metabólica estable con criterios más exigentes que el test del MLSS, véase el apartado 6) fue equiparable a la velocidad que los maratonianos pudieron desarrollar en competición ($18,99 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Resultados no publicados de nuestro laboratorio han confirmado en corredores aficionados de larga distancia que el Tlím a VUan establecido mediante el test 5 x 2.000 m modificado es próximo a 2 h. Según los resultados encontrados en estos dos estudios, desde una perspectiva didáctica consideraremos en este manual que el **Tlím a VUan es $\sim 2 \text{ h}$** . Ante la ausencia de otras investigaciones, lógicamente esta temporalidad debe servir exclusivamente como criterio didáctico, considerando que el Tlím a VUan difiere considerablemente en función del método utilizado para determinar el Uan y probablemente también en función del nivel del deportista.

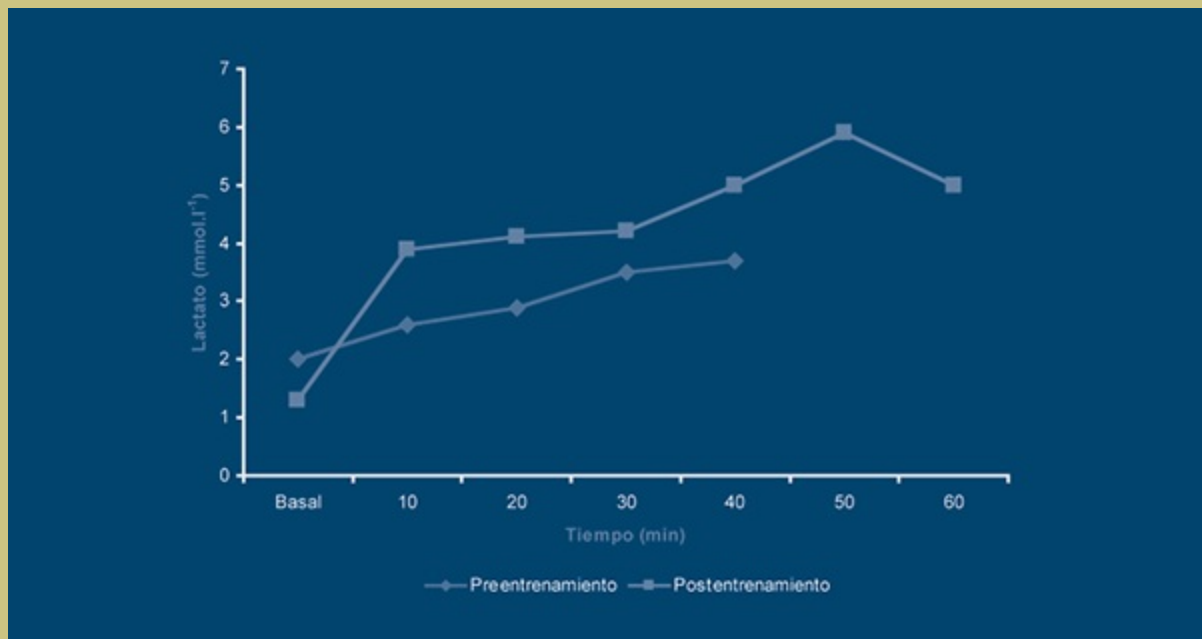


FIGURA 4.31. Efecto de 6 semanas de entrenamiento sobre el Tlím a VMLSS. El Tlím a VMLSS se modifica con el entrenamiento en este grupo de corredores veteranos moderadamente entrenados. También aumenta la concentración de lactato con la duración del esfuerzo a una intensidad en la que teóricamente la producción y eliminación de lactato son equivalentes. Los deportistas, además de diferenciarse en la VUan, van a desarrollar diferente Tlím a VUan, y probablemente uno de los factores que determina el Tlím es el desequilibrio que con la duración del esfuerzo se evidencia entre la producción y la eliminación de lactato.

Adaptado de Billat VL et al. Sports Med 2003;33:407-26.

Eficiencia aeróbica-anaeróbica

Se ha establecido un **Tlím a VAM de ~ 6 min**. Una duración del esfuerzo inferior implica mayor intensidad y demanda energética, que debe ser satisfecha por el metabolismo anaeróbico. También se ha descrito que el Uan se manifiesta a una intensidad inferior a la VAM y que el **Tlím a VUan es ~ 2 h**. Consiguientemente todos los esfuerzos realizados en el **intervalo temporal de ~ 6 min a ~ 2 h** requieren una intensidad comprendida entre la VAM y la VUan. Este intervalo de intensidad se define como la **zona metabólica de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. La conceptualización viene determinada porque la demanda energética es satisfecha mayoritariamente por el metabolismo aeróbico a un porcentaje relativamente elevado respecto

al $\dot{V}O_2$ máx.; pero también, aunque la participación relativa del metabolismo anaeróbico no sea elevada, la intensidad es superior a la VUan, con el consiguiente desequilibrio de la *ratio* producción/eliminación de lactato (figura 4.32).

La **eficiencia aeróbica-anaeróbica** debe ser entendida desde una perspectiva metabólica y mecánica. Similar a la diferenciación entre el $\dot{V}O_2$ máx. (concepto fisiológico) y la VAM (concepto mecánico), la eficiencia aeróbica-anaeróbica corresponde a la velocidad que un deportista es capaz de desarrollar para una duración de esfuerzo determinada que esté entre el Tlím a VAM (~ 6 min) y el Tlím a VUan (~ 2 h). Desde la perspectiva del rendimiento, lo importante es la **velocidad absoluta** desarrollada por el deportista. Sin embargo, para determinar la eficiencia aeróbica-anaeróbica del deportista se requiere eliminar la influencia de otros factores sobre la velocidad absoluta, siendo lo correcto expresar la velocidad desarrollada para una duración o distancia determinada como **porcentaje respecto a la VAM** o en su defecto como porcentaje respecto al $\dot{V}O_2$ máx. Así, un deportista puede desplazarse en una prueba a una velocidad superior a otro deportista y, sin embargo, ser inferior en el porcentaje que relaciona la velocidad de competición respecto a la VAM, y consiguientemente tener peor eficiencia aeróbica-anaeróbica. De forma análoga, también la VUan puede expresarse como porcentaje de la VAM o del $\dot{V}O_2$ máx. La influencia combinada de la VAM y la eficiencia aeróbica-anaeróbica se analiza después con detalle.

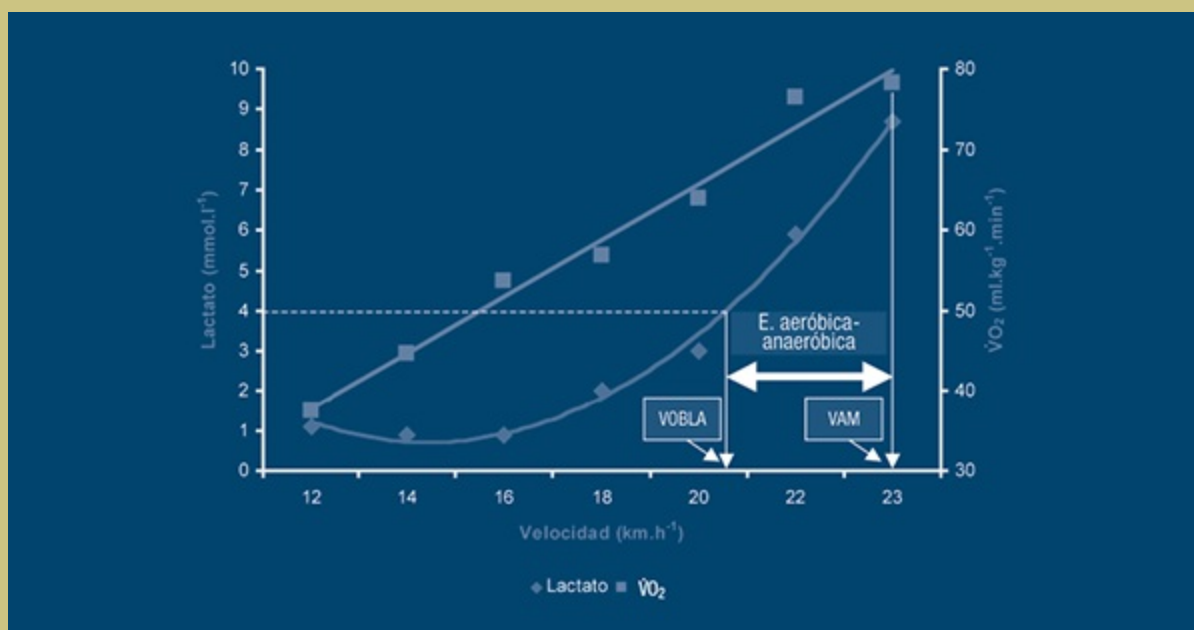


FIGURA 4.32. Representación de la zona metabólica de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Observe la identificación de la zona metabólica de eficiencia aeróbica-anaeróbica que engloba el intervalo de intensidad comprendido entre la VUan (didácticamente representado la VOBLa) y la VAM. Considérese didácticamente que el Tlím a VAM (23 km·h⁻¹) es ~ 6 min y que el Tlím a VUan (20,6 km·h⁻¹) es ~ 2 h. Los esfuerzos más próximos a los 6 min el deportista los va a poder ejecutar a una velocidad próxima a los 23 km·h⁻¹, y los esfuerzos más próximos a las 2 h, a una velocidad próxima a los 20,6 km·h⁻¹.

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Además del porcentaje de VAM desarrollado para una duración establecida, la eficiencia aeróbica-anaeróbica engloba al **Tlím a un determinado porcentaje de VAM** para las velocidades comprendidas entre la VUan y la VAM. Este análisis es análogo al establecido para el Tlím a VAM y el Tlím a VUan. En este caso podemos determinar tantos Tlím como los infinitos porcentajes existentes respecto a la VAM. Habitualmente se expresará la eficiencia aeróbica-anaeróbica en porcentaje de VAM o de VO₂ máx. debido a que las competiciones se rigen por distancias fijas.

El porcentaje de VAM o de VO₂ máx. que un deportista es capaz de desarrollar depende del nivel del deportista y de la **duración o distancia del esfuerzo**. Así, la intensidad de los esfuerzos de una duración de 6 a 30 min se aproximará en mayor medida a la VAM que la intensidad de los esfuerzos de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

30-60 min, mientras que la intensidad de los esfuerzos de 1-2 h será próxima a la VUan. Respectivamente, puede decirse que estos intervalos de duración se desarrollan en la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica de alta, media y baja intensidad**.

Aunque no se dispone de los datos reales de eficiencia aeróbica-anaeróbica, las figuras 4.33 y 4.34 son representativas de que la intensidad que es capaz de desarrollar un deportista en esta zona metabólica se aproxima progresivamente a la VUan al aumentar la duración del esfuerzo (Padilla *et al.*, 2000a). En la figura 4.33 se observa cómo la FC desarrollada por un ciclista profesional en una prueba cronometrada individual de una duración de ~30 min es durante todo el esfuerzo significativamente superior a la FC asociada al OBLA. Para una prueba cronometrada de ~80 min, la FC promedio es equivalente a la FC OBLA, observándose una situación metabólica de estrategia, en la que se manifiesta una FC comprendida entre el LT (incremento de $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ respecto a los valores basales de lactato medidos al 40-60% del VO_2 máx.) y el OBLA en la parte inicial del esfuerzo, y una FC superior a la FC OBLA en la parte final de la competición (figura 4.34). Los resultados observados en la figura 4.34 son además representativos de dos aspectos discutidos anteriormente: (i) la gran diferencia que en deportistas de elite existe entre la intensidad correspondiente al OBLA y la correspondiente a otros métodos de determinar el Uan, reflejándose nuevamente que la VOBLA sobreestima una situación metabólica estable, y (ii) que los deportistas de elite pueden mantener la VUan durante esfuerzos de muy larga duración; en este caso el deportista se desplaza durante un esfuerzo de ~ 80 min a una FC significativamente superior a la FC LT.

Conclusiones similares se obtienen del análisis del récord de la hora del ciclista Miguel Indurain (Padilla *et al.*, 2000b). El deportista realizó el esfuerzo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, 89% de la WAM y una potencia superior a la WOBLA, finalizando la competición con una concentración de lactato de $5,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

En esfuerzos de menor duración Dal Monte y Faina (1999) determinaron la eficiencia aeróbica-anaeróbica en competiciones simuladas mediante la medición directa del VO_2 . Los autores observaron cómo 6 ciclistas recorrieron una prueba cronometrada de 15 km al 92% del VO_2 máx. El % VO_2 máx. desarrollado por un remero en una prueba de menor duración (8 min) fue únicamente el 85% (figura 4.35). El número de sujetos, el nivel de

los deportistas, la motivación y las diferencias en el tipo de esfuerzo pueden explicar las diferencias de eficiencia aeróbica-anaeróbica encontradas en los distintos estudios analizados.

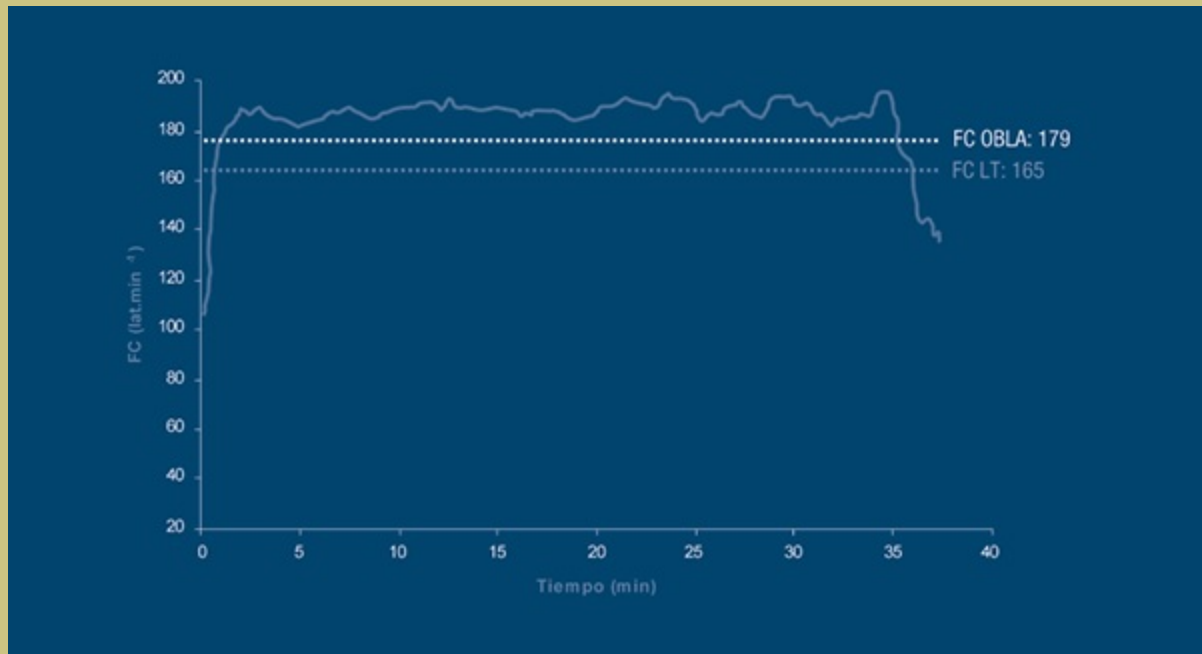


FIGURA 4.33. Análisis metabólico en un ciclista profesional de una prueba cronometrada individual de una duración de ~30 min. Obsérvese primero la diferencia significativa que existe entre la identificación del Uan LT y OBLA. Se desarrolla un esfuerzo de ~30 min en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica a una FC muy superior a la FC LT y también superior a la FC OBLA.

Adaptado de Padilla S et al. Med Sci Sports Exerc 2000;32:850-6.

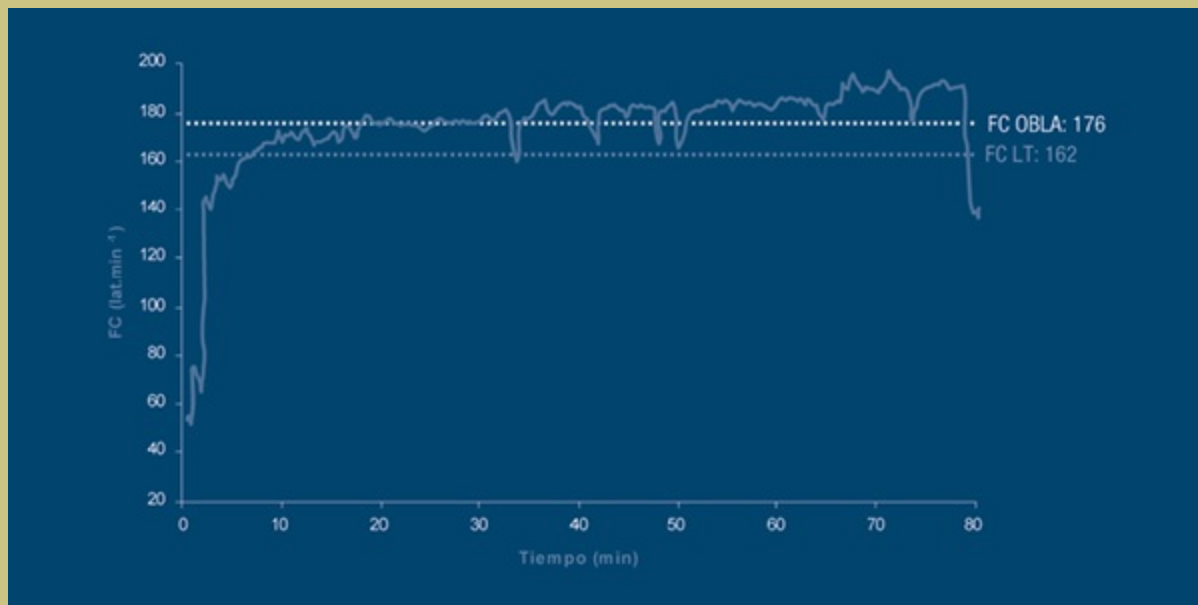


FIGURA 4.34. Análisis metabólico en un ciclista profesional de una prueba cronometrada individual de una duración de ~80 min. Obsérvese nuevamente la diferencia que existe en la FC correspondiente al Uan LT y el OBLA. En este caso, el ciclista ha realizado una intensidad de estrategia desarrollando un esfuerzo superior en la parte final de la prueba. En un esfuerzo que se va aproximando a las 2 h, el deportista sigue desarrollando una intensidad en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, pero a una FC que se aproxima a la FC correspondiente a su Uan. Reflexione que el Tlim a VUan se ha establecido didácticamente en ~ 2 h, y que va a diferir significativamente entre los deportistas, por lo que algunos de menor nivel de rendimiento ni tan siquiera podrían realizar un esfuerzo de esta duración a una velocidad superior a la VUan.

Adaptado de Padilla S et al. Med Sci Sports Exerc 2000;32:850-6.

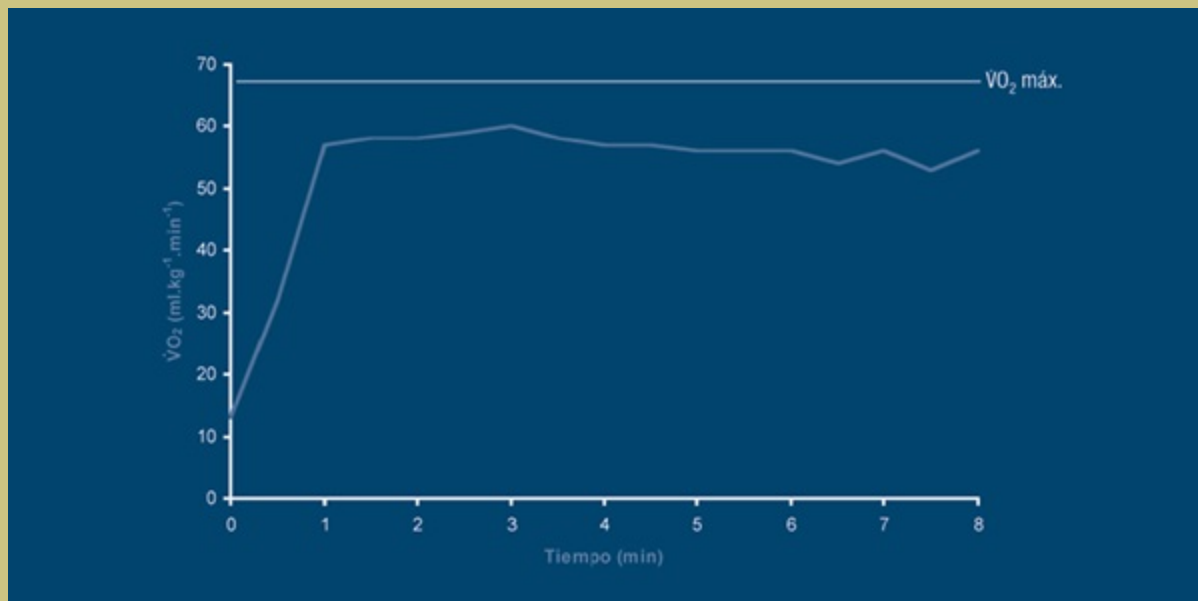


FIGURA 4.35. Eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollada por un remero de elite en una competición simulada de ~ 8 min. El Tlím a VAM se ha establecido en ~6 min. Este deportista no puede manifestar su VO_2 máx. en un esfuerzo de 8 min.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET 1999.

Importancia de la velocidad aeróbica máxima y de la velocidad de umbral anaeróbico en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica

La eficiencia aeróbica-anaeróbica es un concepto expresado de forma relativa a la VAM o al VO_2 máx. Desde esta perspectiva, en los **esfuerzos comprendidos entre el Tlím a VAM (~ 6 min) y el Tlím a VUan (~ 2 h)**, aunque la intensidad sea inferior a la VAM, para el rendimiento en competición tan importante es disponer de una elevada eficiencia aeróbica-anaeróbica como de una VAM elevada. Así, el **VO_2 máx.** con su correspondiente **VAM** son el **límite fisiológico superior** que el deportista nunca puede manifestar en este intervalo temporal de esfuerzos. De hecho, el VO_2 máx. ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) de deportistas de elite que compiten en atletismo en esfuerzos que comprenden este intervalo de tiempo (3.000 m, 5.000 m, 10.000 m y maratón) es equivalente e incluso superior al observado en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

distancias que demandan el máximo potencial aeróbico del deportista (800 y 1.500 m) (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Las figuras 4.36-4.38 son representativas de la importancia relativa para el rendimiento en estos esfuerzos de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y de la VAM. La VAM del hipotético sujeto “A” es $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Su velocidad de competición para un esfuerzo de 15 min es de $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, lo que determina una eficiencia aeróbica-anaeróbica del 95.7% (figura 4.36). El hipotético sujeto “B” es capaz de completar la misma duración del esfuerzo a una eficiencia aeróbica-anaeróbica más elevada (99%). Sin embargo, dado que su VAM es inferior ($20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), su velocidad en competición es significativamente más baja ($19,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (figura 4.37). Lógicamente, la velocidad en competición de un hipotético sujeto “C”, que tiene la misma VAM que el sujeto “A” ($23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y la misma eficiencia aeróbica-anaeróbica para el esfuerzo de 15 min que el sujeto “B” (99%), va a ser más elevada ($22,77 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (figura 4.38). Así, en estos esfuerzos una VAM elevada acompañada por una deficiente eficiencia aeróbica-anaeróbica, o una elevada eficiencia aeróbica-anaeróbica acompañada de una VAM baja, determinan un bajo rendimiento en competición.

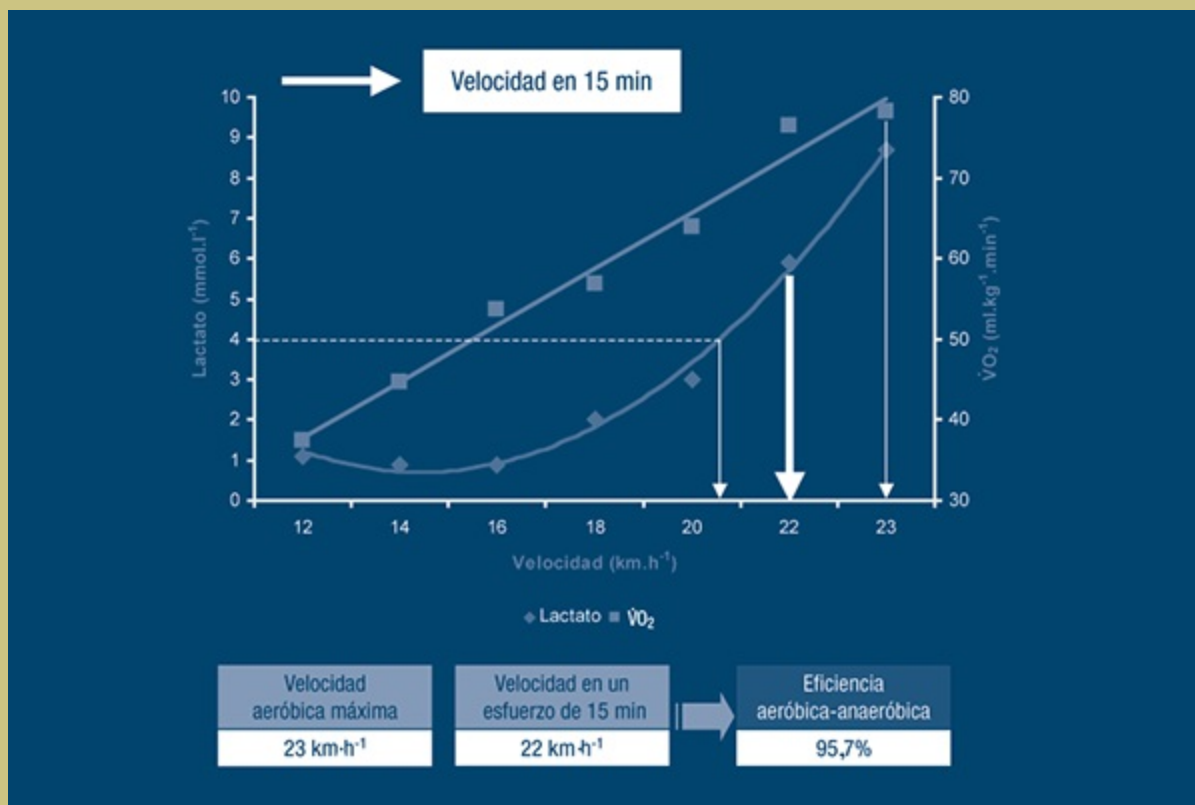


FIGURA 4.36. Relación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y de la VAM con la velocidad de competición: datos de un hipotético sujeto "A". Obsérvese primero el concepto de eficiencia aeróbica-anaeróbica como el porcentaje que respecto a la VAM o en su caso respecto al $\dot{V}O_2$ máx. el deportista es capaz de desarrollar para una determinada duración o distancia del esfuerzo. En este ejemplo, para un esfuerzo de 15 min, el deportista ha desarrollado una eficiencia aeróbica-anaeróbica del 95,7%.

Original de los autores con datos hipotéticos.

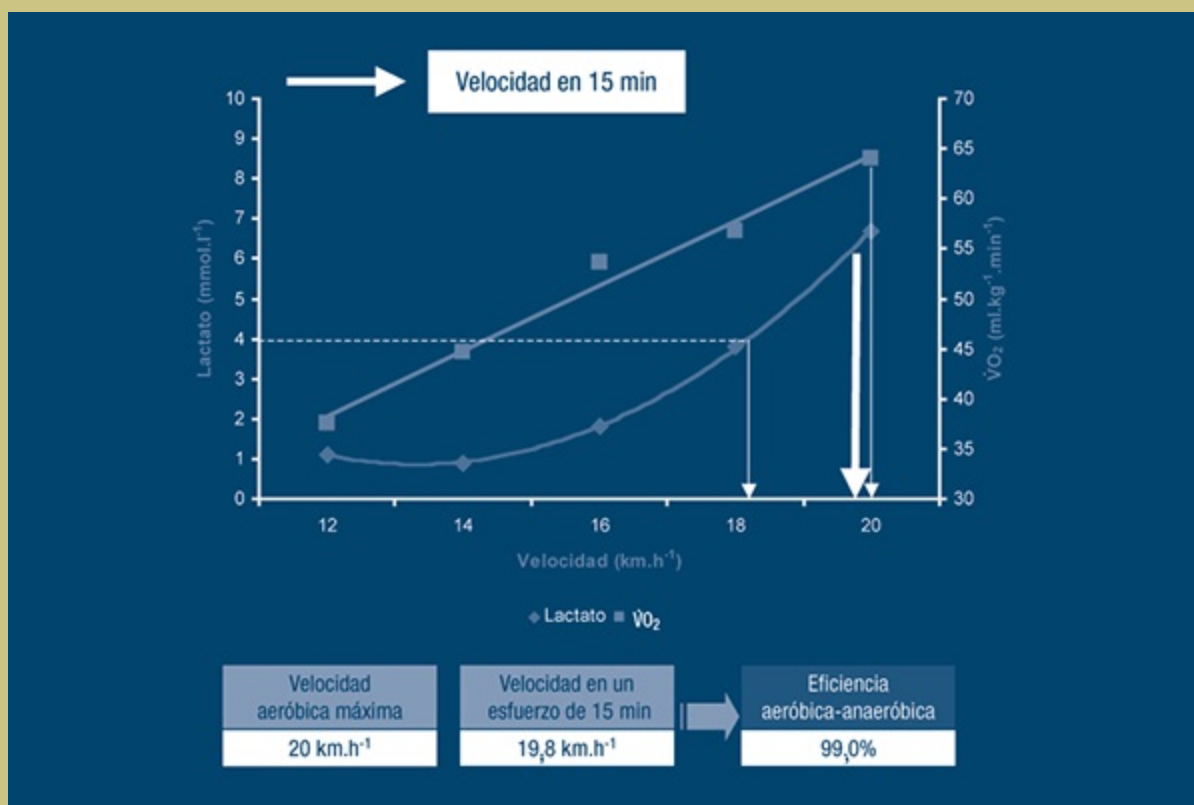


FIGURA 4.37. Relación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y de la VAM con la velocidad de competición: datos de un hipotético sujeto “B”. En relación con el ejemplo anterior, el deportista ha conseguido desarrollar para un esfuerzo de 15 min una eficiencia aeróbica-anaeróbica superior (99% de la VAM). Sin embargo su rendimiento ha sido significativamente inferior (19,8 km·h⁻¹ vs. 22,0 km·h⁻¹) debido exclusivamente a su menor VAM (20 km·h⁻¹ vs. 23 km·h⁻¹). Así pues, para todos los esfuerzos que se desarrollen en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica no es posible obtener un rendimiento óptimo si el deportista no tiene un VO₂ máx. muy elevado que determine una elevada VAM.

Original de los autores con datos hipotéticos.

Desde otra perspectiva, similar análisis puede realizarse para la VUan. En dos deportistas con la misma VAM, probablemente la eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollada en competición y, por tanto, el rendimiento van a ser superiores en el deportista que disponga de una VUan más próxima a la VAM. Si los dos deportistas se desplazan a la misma velocidad de competición y, por tanto, a la misma eficiencia aeróbica-anaeróbica, el deportista con menor VUan realiza un esfuerzo a un %VUan superior, lo que teóricamente determinará mayor concentración de lactato y tener que

disminuir la velocidad para el esfuerzo determinado. La **VUan** y el **Tlim a VUan** representan el **límite fisiológico inferior** de menor intensidad para la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

Consiguientemente, es requisito esencial para un óptimo rendimiento en los esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica incrementar en el proceso de entrenamiento el VO_2 máx. y su correspondiente VAM, y aproximar en la medida de lo posible la VUan a la VAM. Así, como se representa en la figura 4.39, la mejora del VO_2 máx. y de su correspondiente VAM es determinante para el rendimiento en estos esfuerzos, ya que determina el límite máximo tanto para la VUan como para la eficiencia aeróbica-anaeróbica. Incrementar simultáneamente el $\%\text{VO}_2$ máx. desarrollado a la VUan es también importante, pues constituye el límite mínimo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Así, antes del entrenamiento, el hipotético deportista representado, además de disponer de menor límite máximo de eficiencia aeróbica-anaeróbica (VO_2 máx.), tiene un intervalo de su zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica muy elevado al manifestar su Uan a un porcentaje muy bajo respecto al VO_2 máx. (50%). Después del período de entrenamiento, el deportista, además de haber incrementado su límite máximo (VO_2 máx.), ha reducido el intervalo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, ya que su Uan se ha desplazado al 80% del VO_2 máx. En este caso, por ejemplo, la velocidad de un esfuerzo de duración relativamente corta para esta zona de trabajo (8-20 min) será mayor después del entrenamiento aunque su eficiencia aeróbica-anaeróbica esté próxima al Uan ($\sim 80\% \text{VO}_2$ máx.) y la desarrollada antes del entrenamiento se aproxime al VO_2 máx. ($\sim 100\% \text{VO}_2$ máx.). De forma equivalente, y aunque eliminásemos la influencia del incremento del VO_2 máx., la velocidad en un esfuerzo de mayor duración (1-2 h) después del entrenamiento se acercará como mínimo al 80% del VO_2 máx., mientras que la eficiencia aeróbica-anaeróbica probablemente desarrollada antes del entrenamiento se aproximará al 50% del VO_2 máx. En cualquier caso, para una misma eficiencia aeróbica-anaeróbica, la velocidad después del entrenamiento siempre será superior debido al mayor VO_2 máx. En dos deportistas con equivalentes límites máximo (VO_2 máx.) y mínimo (Uan), únicamente la eficiencia aeróbica-anaeróbica ($\%\text{VO}_2$ máx.) desarrollada en competición

determinará el rendimiento.

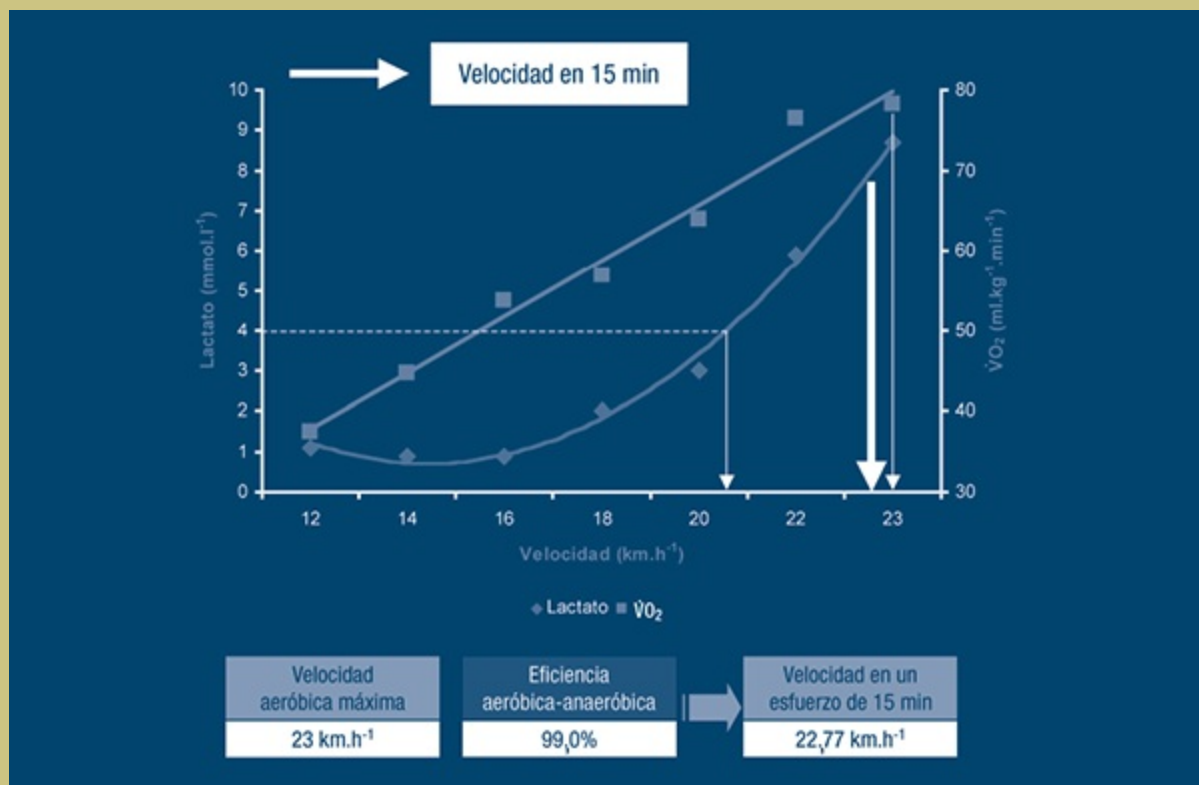


FIGURA 4.38. Relación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y de la VAM con la velocidad de competición: datos de un hipotético sujeto "C". Compruébese, en relación con los ejemplos mostrados anteriormente, que el rendimiento de un esfuerzo ejecutado en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica depende de la VAM y de la eficiencia aeróbica-anaeróbica. El deportista representado tiene la VAM del sujeto "A" y la eficiencia aeróbica-anaeróbica del sujeto "B"; por consiguiente, su rendimiento en un esfuerzo de 15 min es significativamente superior.

Original de los autores con datos hipotéticos.

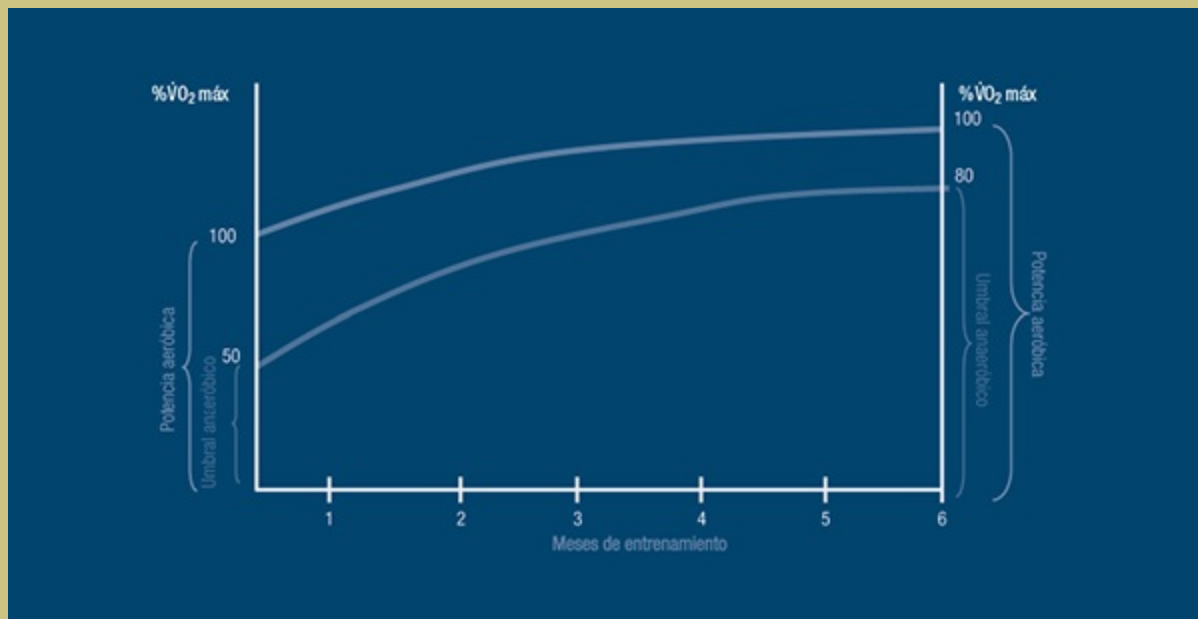


FIGURA 4.39. Efectos deseados en el proceso de entrenamiento relativos a la VAM y la VUan para los esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. La VUan es una más de las infinitas intensidades que puede desarrollar un deportista y, como tal, se manifiesta a un determinado %VAM. Antes del entrenamiento, la VUan se manifiesta a un %VAM muy bajo (50%). Esto determina que es difícil que un deportista que desarrolle un esfuerzo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica manifieste una eficiencia aeróbica-anaeróbica próxima a la VAM, especialmente para los esfuerzos de mayor duración. Después del entrenamiento, como mínimo el deportista realizará un esfuerzo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica al 80% de la VAM. Considérese, por tanto, la importancia de desarrollar la VUan para esfuerzos realizados en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

Original de los autores con datos hipotéticos.

Eficiencia aeróbica

Hemos situado didácticamente sobre la base de algunos datos de deportistas de elite que el Tlím a la VUan es ~ 2 h. Consiguientemente, la velocidad en los **esfuerzos de duración superior a 2 h** es inferior a la VUan. Este intervalo de intensidad se define como la **zona metabólica de eficiencia aeróbica**.

La conceptualización viene determinada porque, además de que la demanda energética es satisfecha por el metabolismo aeróbico, al ser la intensidad inferior a la VUan, no va a existir, al contrario de lo que sucede en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, un incremento de la *ratio* de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

producción/eliminación de lactato (figura 4.40).

De forma análoga a lo establecido para la eficiencia aeróbica-anaeróbica, la **eficiencia aeróbica** es un concepto mecánico que determina una zona de trabajo asociada a diversos procesos fisiológicos. Con el fin de aislar la influencia de otros factores de rendimiento, la eficiencia aeróbica debe expresarse como **porcentaje respecto a la VUan, VAM o $\dot{V}O_2$ máx.** o como el **Tlím a un determinado porcentaje de la VUan, VAM o $\dot{V}O_2$ máx.** para cualquier intensidad inferior a la VUan.

Es necesario resaltar que a una determinada intensidad de la zona de eficiencia aeróbica se han descritos cambios significativos de parámetros ventilatorios (Skinner y Mclellan, 1980) (véase la tabla 4.50). De esta forma, aparece un nuevo concepto de umbral, el **umbral aeróbico ventilatorio** (Uae VT). Numerosos estudios se han basado en la existencia del Uae y Uan ventilatorio (VT1 y VT2) para determinar el metabolismo en competición, especialmente en esfuerzos continuados hechos a intensidad variable como el ciclismo de ruta (véase el apartado 3.2).

La determinación del Uae mediante el análisis del lactato es inusual, estableciéndose de forma análoga al OBLA, el **umbral aeróbico láctico** a una concentración fija de lactato de **2 mmol·l⁻¹**.

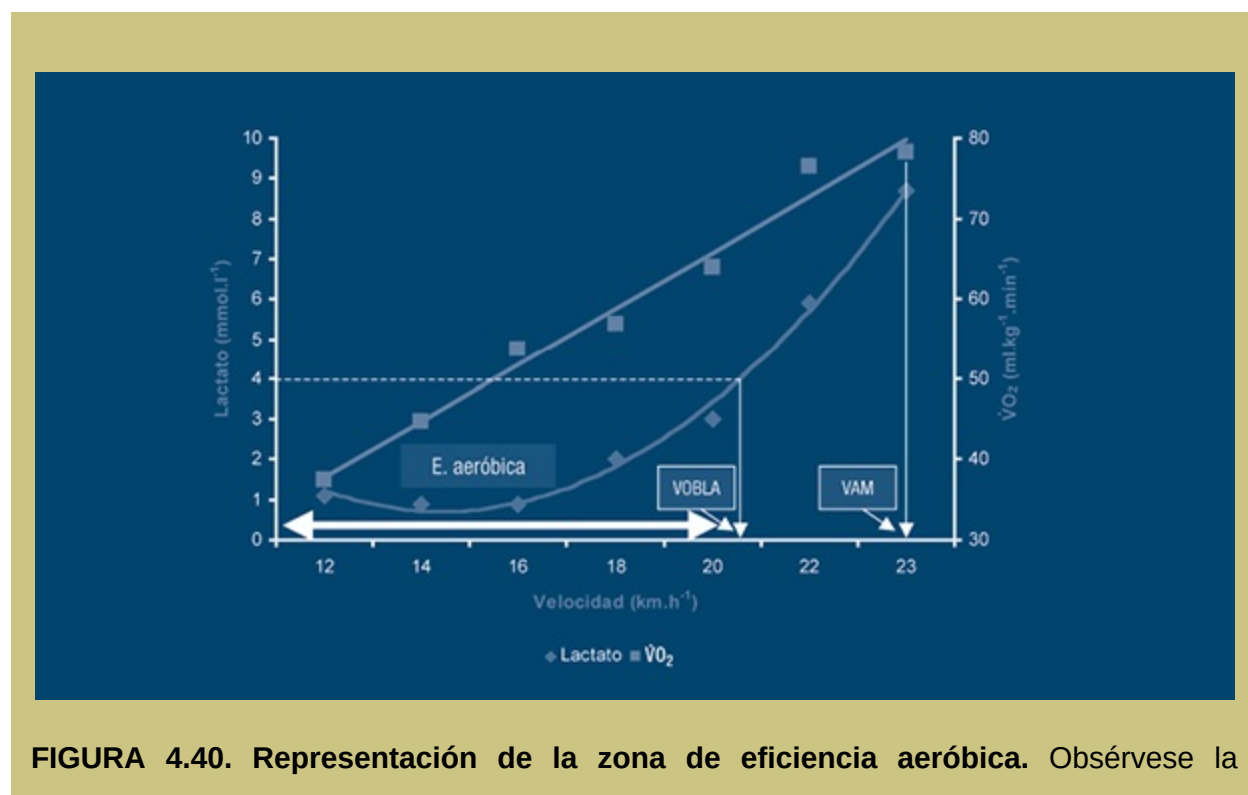


FIGURA 4.40. Representación de la zona de eficiencia aeróbica. Obsérvese la

identificación de la zona metabólica de eficiencia aeróbica que corresponde a cualquier intensidad inferior a la VUan (didácticamente representado como el VOBLA). Didácticamente, el Tlím a VUan (20,6 km·h⁻¹) es ~ 2 h. Los esfuerzos de más de 2 h se desarrollan en esta zona metabólica a un %VUan más elevado cuanto menor sea la duración del esfuerzo.

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Al menos como criterio didáctico, la utilización del Uae en varios estudios presentados en este manual exige estructurar dos zonas metabólicas de eficiencia aeróbica: (i) la **zona de eficiencia aeróbica I** para definir los esfuerzos a **intensidad inferior al Tlím a VUae**, y (ii) la **zona de eficiencia aeróbica II** para definir los esfuerzos comprendidos entre el **Tlím a VUae** y el **Tlím a VUan** (figura 4.41).

Existen muy pocas especialidades deportivas que requieran la realización de un esfuerzo a la máxima intensidad posible durante más de 2 h. Además, no conocemos estudios que hayan determinado el Tlím a la VUae. En consecuencia, no disponemos de datos para determinar la temporalidad correspondiente a las zonas de eficiencia aeróbica I y II. Únicamente, como se detalla en el apartado 3.2, se sabe que el mayor porcentaje de tiempo de una etapa de ciclismo de ruta (> 4 h) se desarrolla a una FC inferior a la FC del Uae. Pero la intensidad de una etapa ciclista no puede considerarse la máxima posible para la distancia establecida.

Importancia de la velocidad de umbral anaeróbico y de la velocidad aeróbica máxima en esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia aeróbica

La importancia de la VUan en esfuerzos ejecutados en la **zona de eficiencia aeróbica** es equivalente a la establecida entre la VAM y la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. En este caso, la **VUan** representa el **límite fisiológico superior** de la zona de eficiencia aeróbica. En consecuencia, una VUan mayor amplía a intensidades más elevadas la zona de eficiencia aeróbica y, a igualdad de otros parámetros, determina el rendimiento en competición (figura 4.42).

De forma equivalente, como el límite máximo de la **VUan** es la **VAM**, su mejora amplía la posibilidad de incrementar la VUan y, por tanto, el intervalo de intensidad de eficiencia aeróbica. De hecho, los ciclistas profesionales de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

ruta, que habitualmente realizan el esfuerzo en la zona de eficiencia aeróbica, tienen el Uan a un elevado porcentaje del $\dot{V}O_2$ máx. y un $\dot{V}O_2$ máx. elevado ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Zapico *et al.*, 2007; Padilla *et al.*, 2000b).

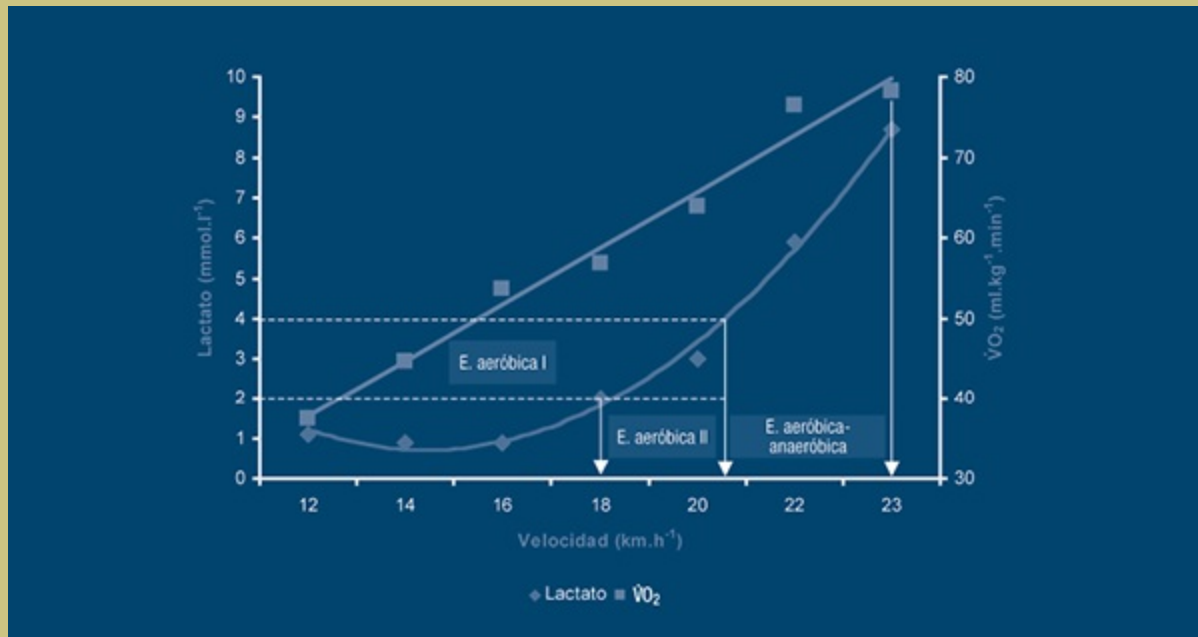


FIGURA 4.41. Representación de las zonas de eficiencia aeróbica I y II. Obsérvese la identificación de todas las zonas metabólicas correspondientes a una intensidad inferior a la VAM mediante un modelo trifásico sobre la base de la determinación del Uae y del Uan a una concentración fija de lactato, respectivamente, de 2 y 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. En el deportista representado, la zona de eficiencia aeróbica I corresponde a cualquier intensidad inferior a 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, la zona de eficiencia aeróbica II al intervalo de intensidad comprendido entre 18 y 20,6 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, y la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica al intervalo de intensidad comprendido entre 20,6 y 23 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Este modelo trifásico, aunque con prudencia, es apropiado para identificar diferentes zonas de entrenamiento.

Original de los autores con datos de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones medias, bajas y muy bajas

Se han establecido dos zonas metabólicas para los esfuerzos que demandan energía inferior a la máxima que puede aportar el metabolismo aeróbico: (i) la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, situada entre el Tlím a VAM (~ 6

min) y el Tlím a VUan (~ 2 h), y (ii) la zona de eficiencia aeróbica para las intensidades inferiores al Tlím a VUan (> 2 h).

Previamente se ha descrito la **concentración de lactato** para el Tlím a VAM ($\sim 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y para el Tlím a VUan ($\sim 4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). En consecuencia, podemos definir teóricamente el intervalo de lactato correspondiente a la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** ($\sim 4\text{-}8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y a la **zona de eficiencia aeróbica** ($< 4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$).

En relación con la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, lógicamente en esfuerzos de 6 a 30 min, en los que la intensidad se aproxima en mayor medida a la VAM, el deportista tendrá que tolerar una concentración de lactato de $\sim 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Teóricamente, la concentración de lactato, al aumentar la duración del esfuerzo a 30-60 min, disminuirá ligeramente ($\sim 7\text{-}6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y en los esfuerzos de mayor duración (1-2 h) se aproximará progresivamente a la concentración correspondiente al Uan ($\sim 6\text{-}4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$).

Respecto a la zona de eficiencia aeróbica, la ausencia de evidencia científica sólo nos permite establecer como criterio didáctico una diferenciación en la concentración de lactato y la duración del esfuerzo atendiendo a la existencia del Uae a una concentración fija de lactato de $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Probablemente, esfuerzos de 2-3 h pueden situarse en la zona de eficiencia aeróbica II, entre el Uae ($\sim 2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y el Uan ($\sim 4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), y esfuerzos de más de 3 h, en la zona de eficiencia aeróbica I ($< 2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), donde teóricamente la tolerancia al lactato no pueda considerarse determinante del rendimiento.

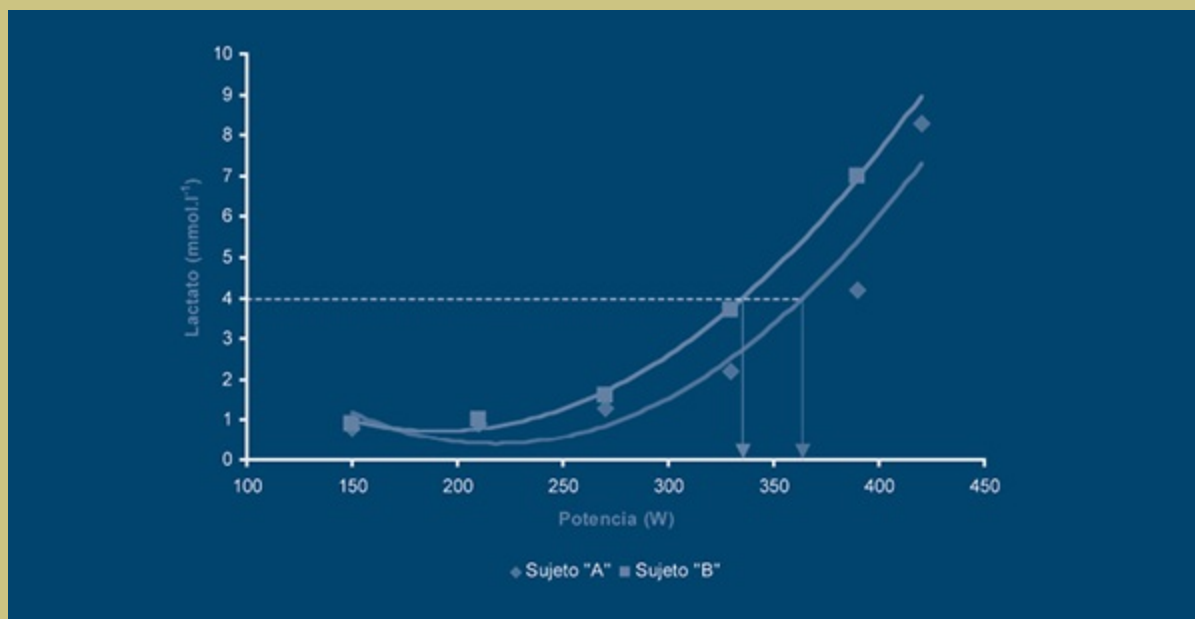


FIGURA 4.42. Diferencias en la intensidad de la zona de eficiencia aeróbica en dos deportistas que difieren en la VUan. El ciclista “A” desarrolla mayor potencia que el ciclista “B” a nivel del Uan OBLA (365 vs. 335 W). Esto implica que el ciclista “B”, aunque manifieste mejor eficiencia aeróbica que el ciclista “A”, probablemente tendrá un rendimiento inferior en cualquier esfuerzo de la zona de eficiencia aeróbica debido a su relativamente deficiente Uan. Considérese entonces la importancia de una elevada velocidad o potencia de Uan para todos los esfuerzos que se desarrollen en la zona de eficiencia aeróbica.

Original de los autores con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

De forma análoga a lo establecido para los esfuerzos que demandan energía superior a la aportada por el metabolismo aeróbico, al incrementar la duración del esfuerzo, disminuye la concentración de lactato a tolerar y las necesidades energéticas requeridas por unidad de tiempo, y aumenta el tiempo de tolerancia (tabla 4.2).

El condicionante táctico sobre la **variación de intensidad de esfuerzo** es menor al aumentar la duración de la competición. Consiguientemente, es de esperar que en los esfuerzos ejecutados en las zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y de eficiencia aeróbica la concentración de lactato al finalizar la competición se aproxime en mayor medida que en los esfuerzos de mayor intensidad a la establecida teóricamente.

TABLA 4.2. Tolerancia al lactato en los esfuerzos que demandan energía inferior al $\dot{V}O_2$ máx.

	<i>Concentración de lactato</i>	<i>Tiempo de tolerancia</i>	<i>Velocidad de contracción muscular requerida</i>
6-30 min	Media ($8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Medio	Media
30-60 min	Media-baja ($7-6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Medio-alto	Media-baja
1-2 h	Baja ($6-4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Elevado	Baja
2-3 h	Muy baja ($4-2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Muy elevado	Muy baja
>3 h	Sin tolerancia ($<2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Sin tolerancia	Sin tolerancia

Original de los autores.

Para una duración de 6-30 min, se ha establecido en competición oficial de 5.000 m en atletismo (~ 13 min en hombres y 15 min en mujeres) una concentración de lactato de $12,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en hombres y de $7,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en mujeres; observándose en marchadores para la distancia de 5.000 m ($\sim 18-20$ min) una concentración de $10,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Legaz-Arrese, 2000). El condicionante táctico todavía es menor en modalidades deportivas en las que no existe interferencia directa de los adversarios. Así, en una competición simulada de remo de ~ 8 min se observó una concentración de lactato al finalizar el esfuerzo de $10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Dal Monte y Faina, 1999) (véase la figura 4.35). Es interesante el análisis realizado por estos autores sobre la evolución del lactato en una prueba cronometrada individual de 15 km (figura 4.43). Este estudio es probablemente el que mejor refleja las condiciones de tolerancia al lactato que se produce en estos esfuerzos. El promedio de concentración de lactato al finalizar el esfuerzo fue $8,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Sin embargo, en los primeros kilómetros de la prueba la concentración de lactato fue significativamente superior ($11,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a los 4 km). La mayor concentración de lactato al inicio del esfuerzo es probablemente consecuencia de una situación metabólica inestable asociada al déficit de O_2 . Cuando el requerimiento energético es realmente satisfecho por el metabolismo aeróbico, el deportista estabiliza su situación metabólica equilibrando la *ratio* de producción/eliminación de lactato correspondiente a la duración del esfuerzo. Aun considerando las diferencias entre estos estudios en el tipo de esfuerzo, en el condicionante táctico y en la valoración en competición real o simulada, globalmente la concentración de lactato observada en esfuerzos de 8-30 min se aproxima a los $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ establecidos teóricamente.

Los datos de concentración de lactato disponibles para esfuerzos de una duración superior son muy limitados y probablemente están condicionados a la concentración de lactato correspondiente al Uan real del deportista. No obstante, todos los resultados disponibles determinan una concentración significativamente inferior a la especificada para esfuerzos de 6 a 30 min. Así, la concentración de lactato en competiciones oficiales de 10.000 m marcha en mujeres (~ 45 min) y de 20.000 m marcha en hombres (~1 h y 20 min) fue respectivamente 3,6 y 2,8 mmol·l⁻¹ (Legaz-Arrese, 2000). Miguel Indurain finalizó su récord de la hora con una concentración de 5,2 mmol·l⁻¹. Similar concentración se observó en corredores veteranos que realizaron un esfuerzo máximo de 1 h (véase la figura 4.31) (Billat *et al.*, 2003). El promedio de concentración de lactato observado durante la determinación del máximo estado estable con el test 5 x 2.000 modificado en maratonianos de elite fue 2,3 mmol·l⁻¹, pudiendo reflejar la concentración real en competición al coincidir la velocidad de competición con la velocidad determinada en el test (Navarro y Legaz, 1998).

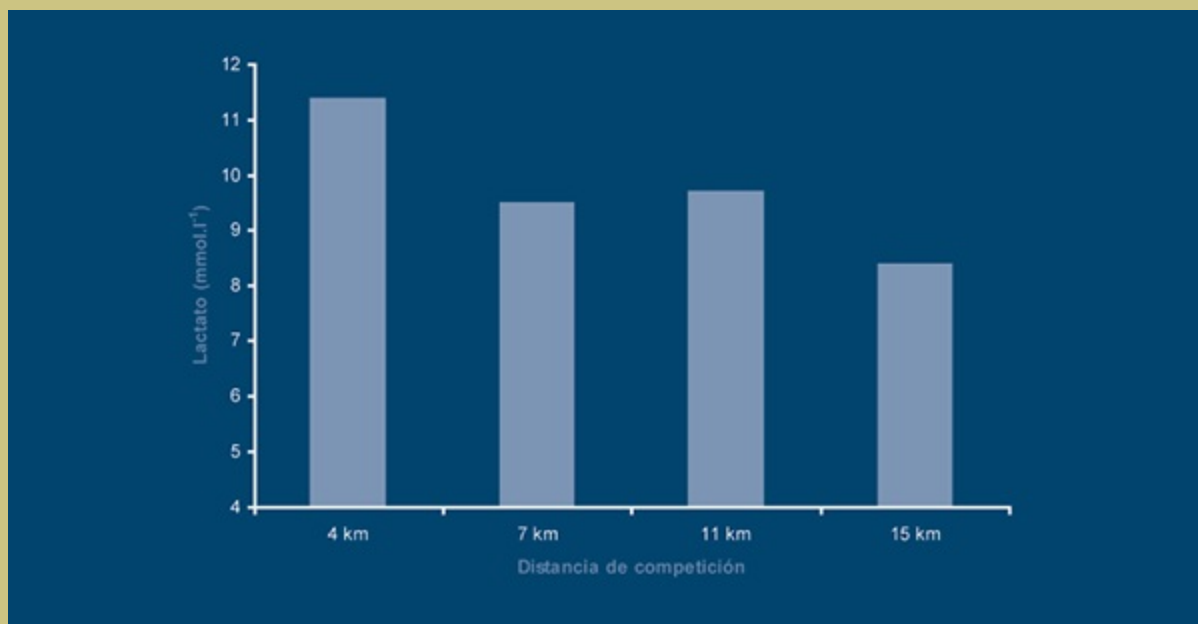


FIGURA 4.43. Cinética del lactato en una prueba cronometrada de ciclismo de 15 km. La concentración de lactato en un esfuerzo que se realiza en la zona más elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica no es constante durante toda la prueba. Véase el texto para comprender la cinética del lactato en el transcurso de un esfuerzo de esta duración.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

Capacidad aeróbica glucolítica y movilización de grasas

Los esfuerzos de una duración superior a 1 min son predominantemente aeróbicos. En esfuerzos ejecutados a la máxima intensidad posible, la energía aeróbica se obtiene mediante la degradación de los hidratos de carbono debido a que se dispone de mayor cantidad de energía por unidad de tiempo que mediante la degradación de las grasas. Sin embargo, las reservas energéticas de hidratos de carbono son limitadas, lo que define la **capacidad aeróbica glucolítica** de los deportistas. La figura 4.44 muestra que las reservas de hidratos de carbono se agotan en un esfuerzo continuado hecho a la máxima intensidad posible en ~1 h (Hultman, 1989). En realidad, es en esfuerzos de una **duración mínima de 60 min** en los que la **ingestión de hidratos de carbono durante el esfuerzo** se asocia a un incremento del rendimiento (Palmer *et al.*, 1998; Jeukendrup *et al.*, 1997). En cambio, para esfuerzos máximos continuados de menor duración, por ejemplo de ~30 min, se ha observado que la ingestión de hidratos de carbono no se asocia a un mejor rendimiento (Jeukendrup *et al.*, 2008).

El agotamiento de los depósitos de hidratos de carbono es determinante, ya que implica una utilización predominante de las grasas en la obtención de energía, asociándose a una disminución de la intensidad del esfuerzo. Lógicamente, los hidratos de carbono no se agotan en la primera hora de un esfuerzo de mayor duración. Esto se debe a que el requerimiento energético por unidad de tiempo es menor, lo que implica, además de menor cantidad de energía derivada del metabolismo aeróbico glucolítico, la posibilidad de mayor participación de las grasas en la obtención de energía. Independientemente, en esfuerzos de una duración superior a 1 h, los deportistas con mayor capacidad aeróbica glucolítica, a igualdad de condiciones de otros parámetros fisiológicos y mecánicos, desarrollarán una intensidad de esfuerzo superior. Así, en dos deportistas que para una determinada duración del esfuerzo superior a 1 h desarrollen la misma velocidad y cuya participación relativa de los hidratos de carbono y de las grasas en la obtención de energía sea supuestamente equivalente, aquel que tenga mayor capacidad aeróbica glucolítica podrá en un momento determinado incrementar la intensidad del esfuerzo, mientras que el otro deportista podrá como máximo mantener la misma intensidad al verse limitado por su menor reserva de hidratos de carbono. De forma equivalente, el Tlím a una determinada intensidad de un esfuerzo superior a 1 h será

mayor en los deportistas con elevada capacidad aeróbica glucolítica (Bergstrom *et al.*, 1967) (figura 4.45)

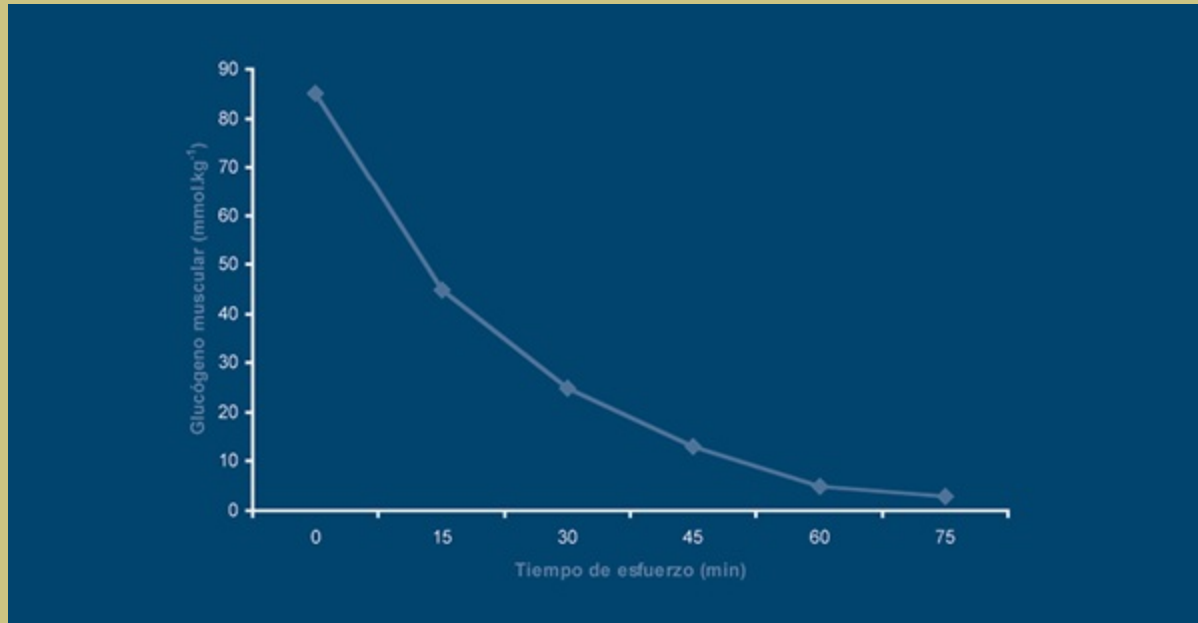


FIGURA 4.44. Concentración de glucógeno y tiempo de esfuerzo en sujetos que pedalearon al 80% del VO₂ máx. En un esfuerzo de 75 min, la concentración de glucógeno en el músculo cuádriceps disminuye progresivamente llegando a su depleción en ~ 1 h. En esfuerzos de una duración inferior a ~1 h, las reservas de hidratos de carbono no van a ser limitantes del rendimiento, mientras que en esfuerzos de una duración superior, además de ser limitantes del rendimiento, se requiere la ingestión de hidratos de carbono durante el esfuerzo y adquiere importancia la cantidad de energía obtenida mediante el metabolismo de las grasas.

Adaptado de Hultman E. Am J Clin Nutr 1989;49(5 Suppl):949-57.

Con el fin de incrementar los depósitos de hidratos de carbono y su utilización durante el esfuerzo, numerosos estudios han establecido **pautas nutricionales** para antes, durante y después de las competiciones. Desde hace más de 40 años, investigadores suecos (Bergstrom *et al.*, 1967), con el objetivo de mejorar el rendimiento en pruebas de larga duración mediante un aumento de los depósitos de glucógeno, establecieron un programa combinado de ejercicio y dieta para los días previos a la competición. Esta estrategia busca inicialmente agotar al máximo los depósitos de glucógeno. Para ello, se recurre a un breve período de entrenamiento extenuante, acompañado de un período corto (2-3 días) de una dieta alta en proteínas y

grasas. Posteriormente, para causar una supercompensación de los depósitos de hidratos de carbono, se realiza un entrenamiento muy suave y una dieta basada casi exclusivamente en la ingestión de hidratos de carbono. Con este método, algunos estudios mostraron una mayor capacidad de resistencia (Karlsson y Saltin, 1971). Esta estrategia se ha modificado posteriormente al comprobarse que la supercompensación de los depósitos de hidratos de carbono es comparable si se realiza únicamente una alta ingesta de hidratos de carbono y una reducción significativa del entrenamiento en los días previos a la competición (Bussau *et al.*, 2002; Costill *et al.*, 1981).

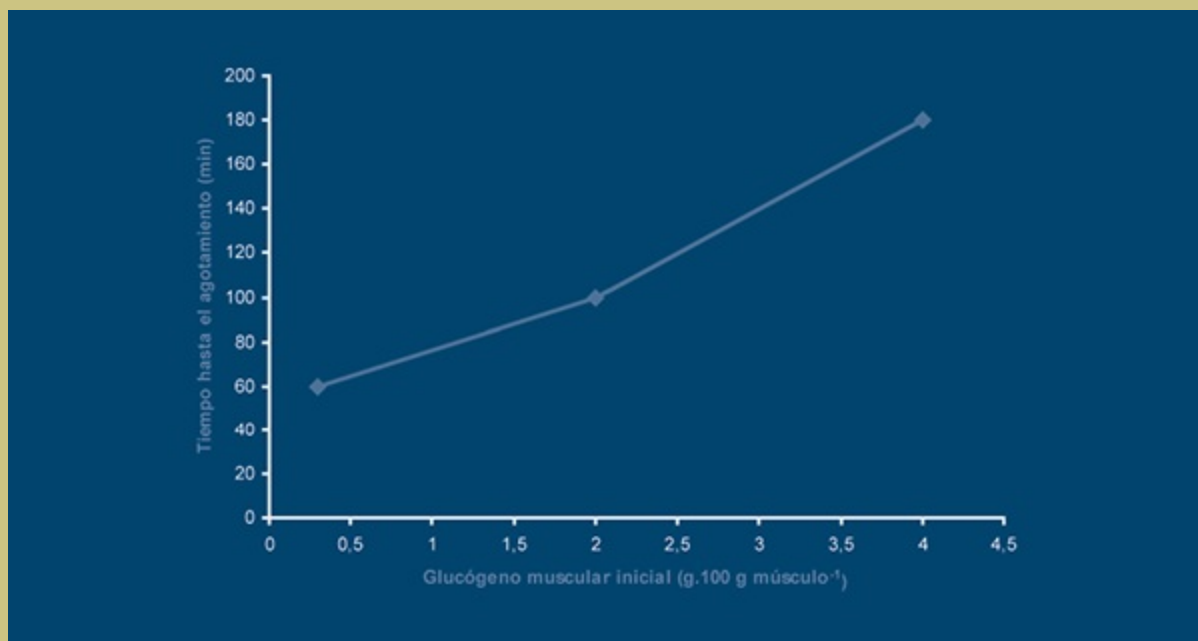


FIGURA 4.45. Reservas de glucógeno muscular y Tlím a una determinada intensidad en un esfuerzo realizado en cicloergómetro. Cuanto mayores son las reservas de glucógeno muscular, mayor es el tiempo que un deportista puede mantener a una determinada intensidad esfuerzos superiores a 1 h.

Adaptado de Bergström J et al. Acta Physiol Scand 1967;71:140-50.

También se ha destacado la importancia de una adecuada ingestión de hidratos de carbono en las primeras horas de recuperación de una competición y/o entrenamiento. Este aspecto es relevante en todo el proceso de entrenamiento con el fin de realizar un trabajo de mayor intensidad.

A este respecto, Burke *et al.*, (2004), basándose en la recopilación de diferentes estudios, establecieron que después de un esfuerzo que agote los

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

depósitos de hidratos de carbono, la reposición de éstos en las primeras 24 h de recuperación es mayor cuanto mayor es la ingesta de hidratos de carbono, al menos hasta que se alcanza el umbral de almacenamiento del músculo, ~ 12-13 g·kg⁻¹ de masa corporal al día (véase la figura 2.31).

Es importante que una gran parte de la ingesta de hidratos de carbono se realice en la primera hora de recuperación, pues la mayor activación de la glucogenosintasa causa un incremento de la reposición del glucógeno muscular (Ivy *et al.*, 1988) (véase la figura 2.32).

La reposición temprana de hidratos de carbono es de especial relevancia cuando entre sesiones de entrenamiento y/o competiciones existe un período de recuperación inferior a 8 h. Para un período de recuperación superior, no parece que haya diferencias en el restablecimiento de los depósitos de glucógeno entre una ingesta temprana y tardía de hidratos de carbono, pudiendo el deportista seleccionar una ingesta más cómoda (Parkin *et al.*, 1997).

Otros aspectos, como el tipo y la cantidad de hidratos de carbono ingeridos o la influencia de la adición de otros nutrientes, también se han considerado importantes para la reposición del glucógeno y el rendimiento. Recomendamos al lector interesado la consulta de manuales y/o artículos específicos para una mayor ampliación de los aspectos nutricionales asociados al rendimiento deportivo.

La posibilidad de ingerir hidratos de carbono durante la propia competición no ha sido ajena a los estudios de investigación. Ivy *et al.*, (1979) observaron que a partir de los 90 min de un esfuerzo máximo de 2 h en cicloergómetro los deportistas que ingirieron hidratos de carbono pudieron incrementar su capacidad de trabajo, mientras que los restantes deportistas disminuyeron significativamente su capacidad de rendimiento (figura 4.46). Utter *et al.*, (2002) establecieron en un grupo de 98 maratonianos moderadamente entrenados que quienes ingirieron hidratos de carbono durante la carrera consiguieron mantener en la parte final de la competición un mayor porcentaje de la FC máx. y una menor percepción subjetiva de fatiga (véase la figura 2.14).

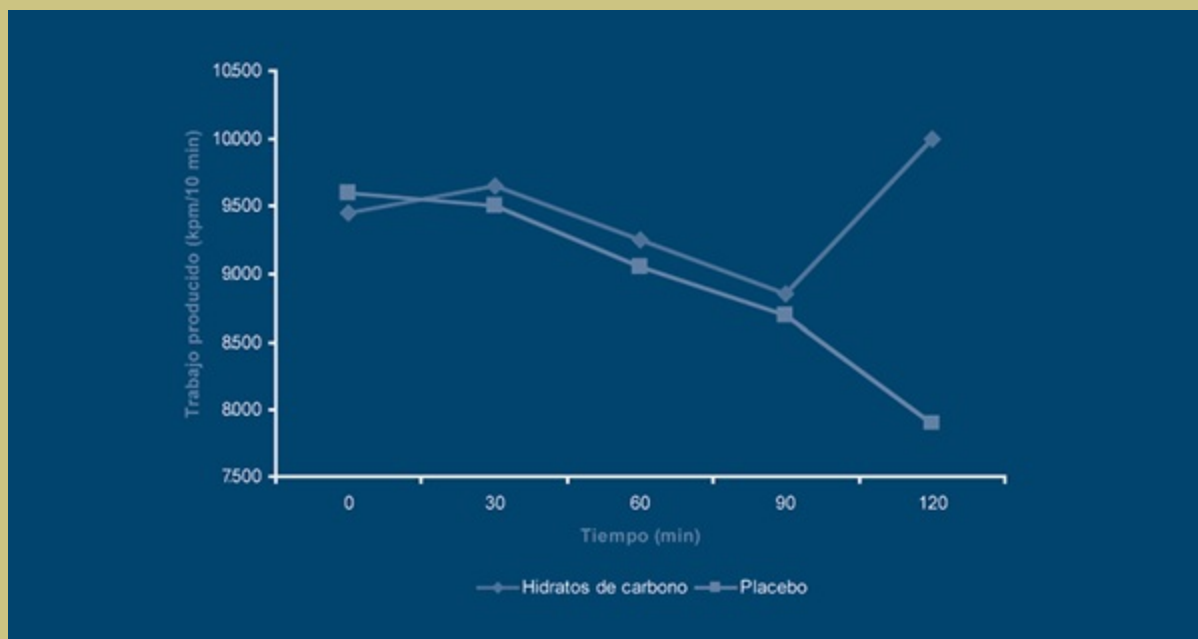


FIGURA 4.46. Ingesta de hidratos de carbono y rendimiento en un esfuerzo máximo de 2 h en cicloergómetro. La ingestión de hidratos de carbono durante esfuerzos superiores a 1 h (en este caso 2 h) permite obtener un mayor rendimiento.

Adaptado de Ivy JL et al. Med Sci Sports 1979;11:6-11.

Backhouse *et al.*, (2005) han confirmado la relación entre la ingestión de hidratos de carbono durante el ejercicio y la percepción de fatiga en esfuerzos de larga duración, utilizando tanto la escala de Borg como la escala de sentimientos propuesta por Hardy y Reheski (1989). Cramp *et al.*, (2004), a pesar de no establecer diferencias en la percepción de fatiga, observaron que los deportistas que realizaron una elevada ingesta de hidratos de carbono en las 3 h previas a un esfuerzo de simulación en laboratorio de la competición de BTT (93 min) tuvieron una mejora del rendimiento del 3%, asociándose a una mayor *ratio* de oxidación de hidratos de carbono.

La limitación de las reservas de hidratos de carbono establece que, desde una perspectiva metabólica, en esfuerzos de una **duración superior a 1 h**, la intensidad del esfuerzo desarrollada por un deportista está determinada, además de por su capacidad aeróbica glucolítica, por su **capacidad de movilización de las grasas** para la obtención de energía. Lógicamente, la importancia relativa del metabolismo lipídico es proporcional a la duración del esfuerzo. A este respecto, Dal Monte y Faina (1999) mostraron que durante una prueba de marcha de 180 min se produce una disminución

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

progresiva de la participación de los hidratos de carbono al aumentar la duración del esfuerzo, con un marcado incremento de la participación de las grasas a partir de los 90 min (figura 4.47).

A igualdad de condiciones de otros parámetros fisiológicos y mecánicos, un deportista con mayor capacidad de obtención de energía mediante el metabolismo de las grasas desarrollará mayor intensidad de esfuerzo, o bien, para una misma velocidad de desplazamiento, mantendrá en niveles más elevados sus **reservas de hidratos de carbono**, lo que le permitirá incrementar en un momento determinado la intensidad del esfuerzo. De hecho, se ha demostrado que una de las respuestas clásicas del entrenamiento de resistencia es que los atletas bien entrenados respecto a sujetos no entrenados tienen una mayor aptitud para oxidar grasa durante un esfuerzo submáximo a la misma intensidad absoluta y relativa (Stisen *et al.*, 2006; Coyle y Holloszy, 1984). También se ha sugerido que determinadas **estrategias nutricionales** basadas en una ingesta elevada de grasas podrían permitir a un deportista utilizar una mayor proporción de grasa en esfuerzos de mayor intensidad (Burke y Hawley, 2002). Estos autores, en su trabajo de revisión, concluyen que una dieta con elevado contenido en grasa realizada durante 1 a 3 días antes de la competición se asocia con una disminución de los depósitos de hidratos de carbono en el músculo (y presumiblemente en el hígado) y una reducción del rendimiento. Esta última es probablemente el resultado de una combinación de la reducción drástica de los depósitos de hidratos de carbono en el músculo y la ausencia de un aumento importante de la utilización de grasas durante el esfuerzo que compense la reducción de la utilización de hidratos de carbono. Sin embargo, períodos más prolongados siguiendo una dieta con alto contenido en grasa (5-6 días) aumenta sustancialmente la aptitud para la oxidación de grasa durante un esfuerzo submáximo, cambiando el patrón del metabolismo (de hidratos de carbono a grasas). Esta estrategia representa una oportunidad práctica para mejorar el rendimiento en competiciones de larga duración mediante la manipulación dietética. Sin embargo, los estudios realizados con sujetos bien entrenados muestran que las estrategias de adaptación a un alto contenido en grasa en la dieta previa a la competición no mejoran el rendimiento en esfuerzos prolongados. No obstante, es probable que la modificación dietética con un alto contenido en grasa para adaptar el organismo a su utilización en esfuerzos prolongados constituya un método que se deba utilizar en el entrenamiento dentro de un programa de periodización de la dieta, con alto

contenido de grasa en determinados períodos de entrenamiento y alto contenido de hidratos de carbono antes de la competición.

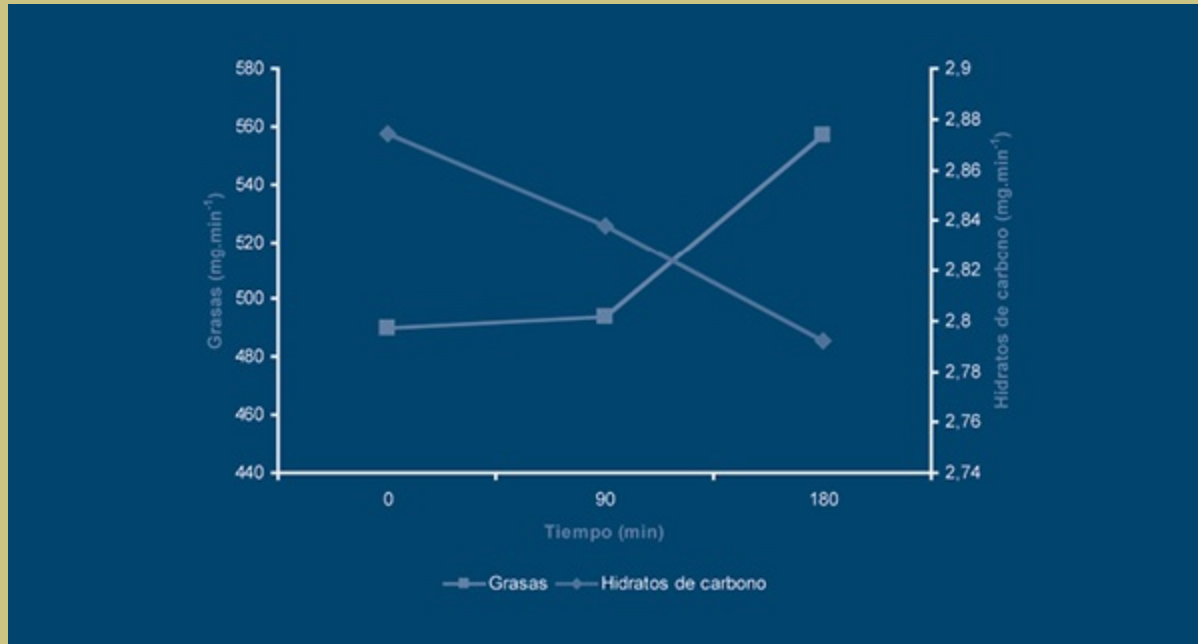


FIGURA 4.47. Participación de los hidratos de carbono y las grasas en una prueba de marcha de 180 min. Los hidratos de carbono no se agotan en 1 h para esfuerzos que son de mayor duración. Cuanto mayor sea la duración del esfuerzo, menor será el requerimiento energético y, por tanto, con menor ritmo se agotarán los depósitos de hidratos de carbono y mayores serán las posibilidades de que las grasas contribuyan significativamente a la obtención de energía. Sin embargo, finalmente la depleción progresiva de hidratos de carbono determina que la mayor parte de la energía provenga de la degradación de grasas, lo que causará, en función de la regulación del esfuerzo y de su duración, una disminución de la velocidad de desplazamiento.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

Equilibrio térmico e hidroelectrolítico

Uno de los objetivos fundamentales de la homeostasis es mantener la regulación de la temperatura del organismo. El incremento de la temperatura corporal está asociado al calor metabólico y ambiental. Para mantener el equilibrio térmico, el organismo puede disipar calor por radiación, conducción, convección y evaporación (figura 4.48).

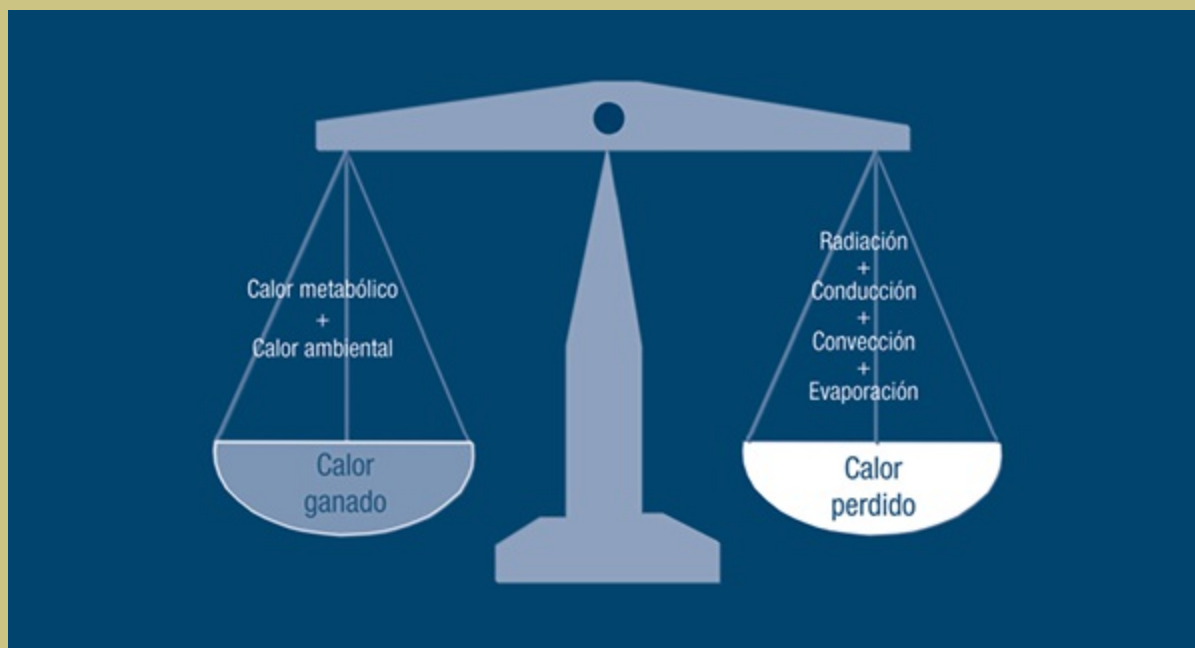


FIGURA 4.48. Representación del equilibrio térmico corporal. La figura muestra los mecanismos que inducen un equilibrio térmico corporal. Durante la transformación de la energía química contenida en la molécula de ATP en energía mecánica se desprende además calor. En consecuencia, es difícil mantener un equilibrio térmico corporal durante la realización de un esfuerzo físico de intensidad y duración elevadas.

Adaptado de Terrados N. Situaciones especiales de entrenamiento. Termorregulación y altitud. COE-UAM, 2004.

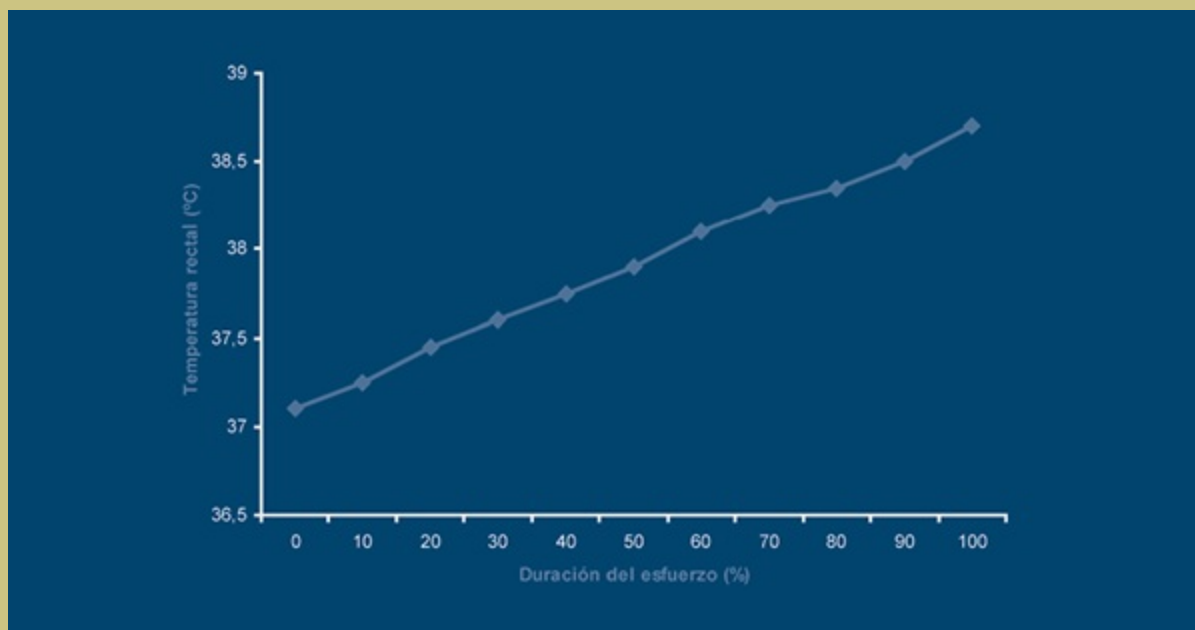


FIGURA 4.49. Temperatura rectal y duración del esfuerzo. Durante la ejecución de un esfuerzo de larga duración, el desequilibrio térmico corporal se acentúa asociado a la duración del esfuerzo. Este desequilibrio se considera uno de los factores limitantes del rendimiento en la mayoría de los esfuerzos, especialmente en los de mayor duración.

Adaptado de Crewe H et al. Eur J Appl Physiol 2008;103:569-77.

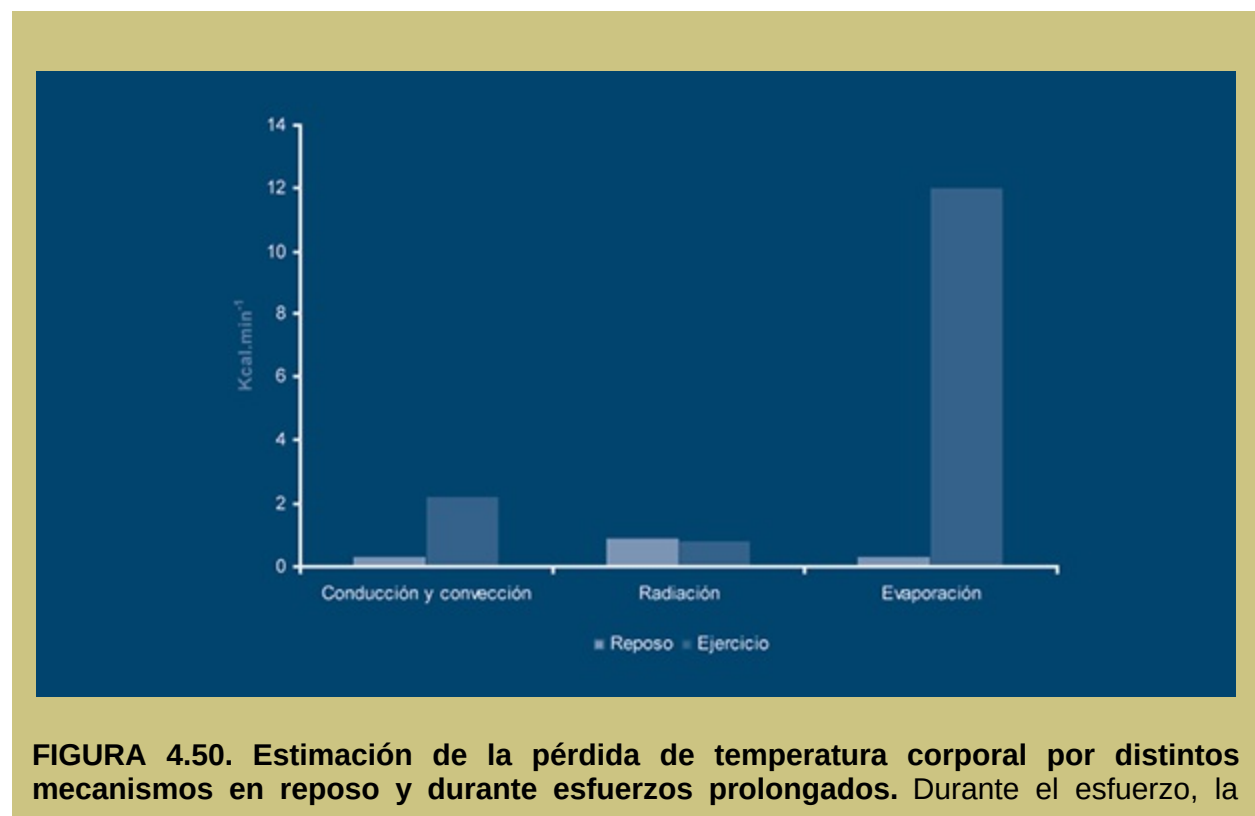
El **equilibrio térmico** durante el esfuerzo se ve dificultado debido al elevado incremento del calor metabólico, de forma que la temperatura corporal aumenta de forma progresiva a la **duración del esfuerzo**. El aumento de la temperatura corporal es también dependiente de la **capacidad de termorregulación** que tengan los deportistas (figura 4.49).

La **evaporación**, fundamentalmente mediante la sudoración, es el principal mecanismo que tiene el organismo para disipar el incremento de calor inducido por el esfuerzo físico (figura 4.50). La relevancia de la evaporación aumenta progresivamente con el incremento de la **temperatura ambiental**. En estas condiciones, la pérdida de calor mediante conducción y radiación se minimiza al disminuir el gradiente de temperatura entre la temperatura de la sangre y de otros tejidos y la del ambiente; incluso, en condiciones extremas, se gana calor mediante estos mecanismos.

La regulación de la temperatura corporal está dificultada, por tanto, en mayor medida cuando el esfuerzo físico se realiza a una elevada temperatura ambiental. Igualmente, el equilibrio térmico es más difícil en condiciones de

humedad relativa elevada debido a que el sudor no se evapora y en consecuencia no se pierde calor por la piel. Para mantener el nivel de sudoración, aumenta el paso de líquido intracelular al espacio extracelular, induciendo de forma progresiva la duración del esfuerzo un incremento de la **deshidratación**, acompañado de un incremento de la viscosidad de la sangre y de una disminución del volumen sistólico. En condiciones de humedad relativa elevada, al estar dificultada la pérdida de calor mediante la evaporación del sudor, el organismo sigue sudando más en un intento por eliminar el calor, produciendo un mayor grado de deshidratación que finalmente se manifiesta en una pérdida de rendimiento (figura 4.51).

Así, en esfuerzos intensos de larga duración realizados en condiciones ambientales adversas, el deportista, para mantener una misma intensidad de esfuerzo, necesita un mayor consumo energético y tiene que incrementar su gasto cardíaco elevando la FC para incrementar el flujo sanguíneo en las zonas periféricas y facilitar la pérdida de calor (figura 4.52). En estas condiciones de regulación del flujo sanguíneo, si la intensidad y la duración del esfuerzo son elevadas, el aumento de la FC no es suficiente para mantener el gasto cardíaco debido a la disminución del volumen plasmático consiguiente a la deshidratación.



evaporación es prácticamente el único mecanismo de que dispone el organismo para intentar mantener el equilibrio térmico corporal.

Adaptado de Terrados N. Situaciones especiales de entrenamiento. Termorregulación y altitud. COE-UAM, 2004.

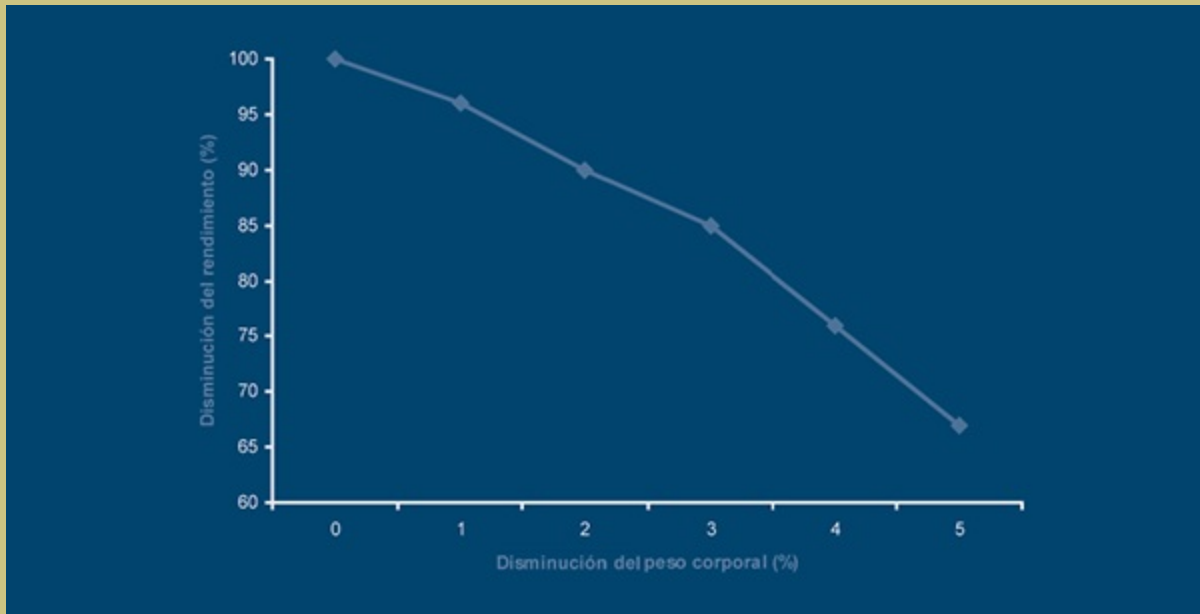


FIGURA 4.51. Disminución del rendimiento de resistencia con la deshidratación. La evaporación que sigue al esfuerzo físico es inherente al proceso de deshidratación. Cuanto mayor es el grado de deshidratación (expresada en la disminución porcentual del peso corporal), mayor es el declive del rendimiento. Considérese la importancia de la hidratación en los esfuerzos que impliquen durante un tiempo considerable un elevado desequilibrio de la temperatura corporal.

Adaptado de Saltin B y Costill DL. Fluid and electrolyte balance during prolonged exercise. En: Horton ES, Teejung RL. Exercise, nutrition and metabolism. Macmillan, 1988.

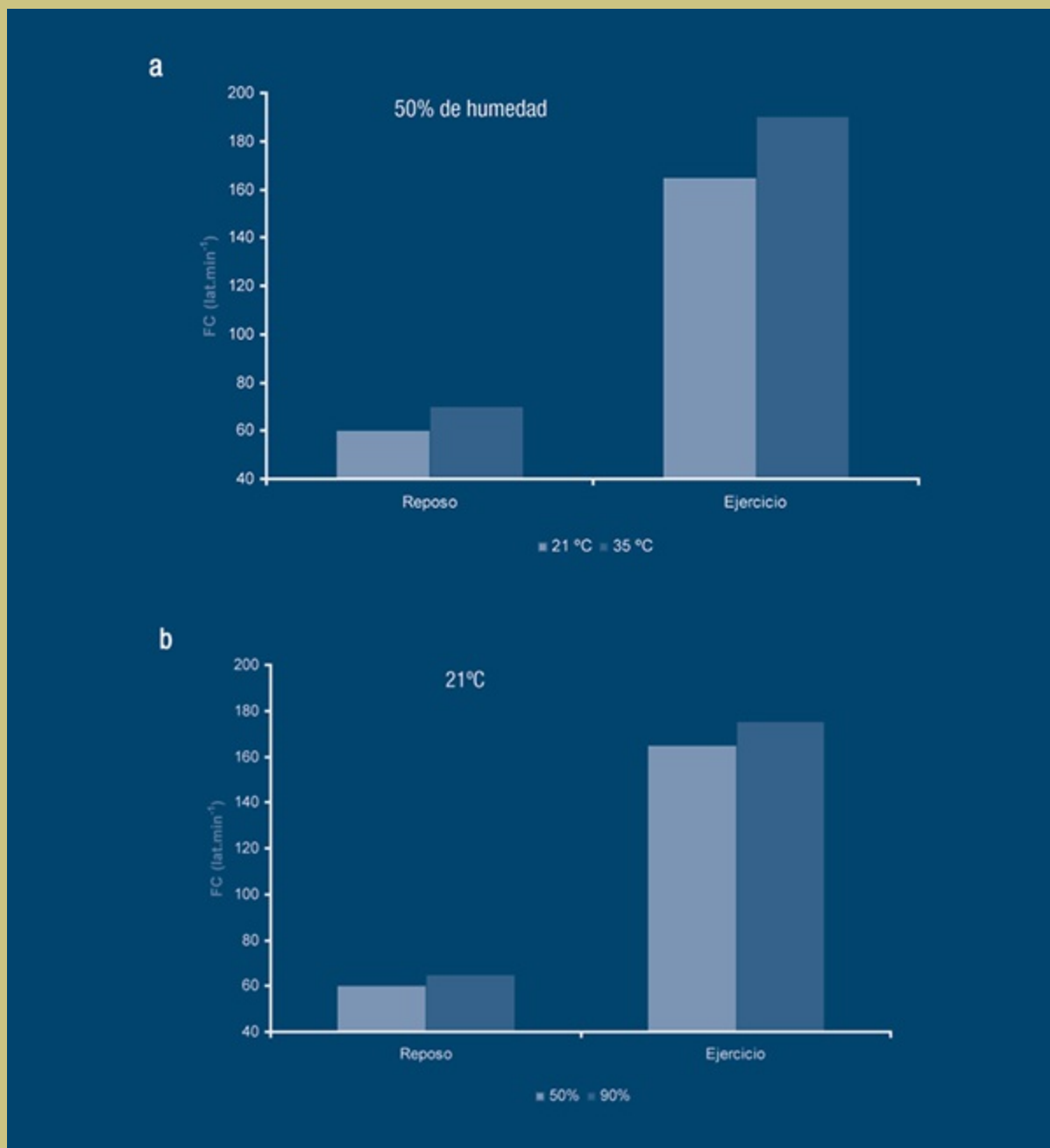


FIGURA 4.52. Respuesta de la FC cuando se corre a 14 km·h⁻¹ en diferentes condiciones de temperatura y humedad. Una temperatura elevada y en menor medida una humedad elevada determinan importantes cambios fisiológicos durante el esfuerzo, en este ejemplo un incremento significativo de la FC en un esfuerzo a intensidad submáxima. Considérese el menor rendimiento asociado a esfuerzos ejecutados a temperatura y humedad elevadas.

Adaptado de Willmore JH y Costill DL. Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, 2004.

El incremento de sangre en la periferia y la disminución del volumen plasmático implican una cantidad menor de sangre en los grupos musculares y una reducción del rendimiento. De hecho, numerosos parámetros fisiológicos asociados al rendimiento deportivo (p. ej., FC, VO_2 , lactato, glucógeno) están significativamente alterados en condiciones de calor, especialmente al aumentar la duración del esfuerzo (Fink *et al.*, 1975). Como consecuencia de estas variaciones de los factores de rendimiento relevantes en esfuerzos de larga duración, Cheuvront y Haymes (2001), en su trabajo de revisión, presentan numerosos estudios que han establecido modificaciones significativas del rendimiento de resistencia en función de la temperatura ambiental.

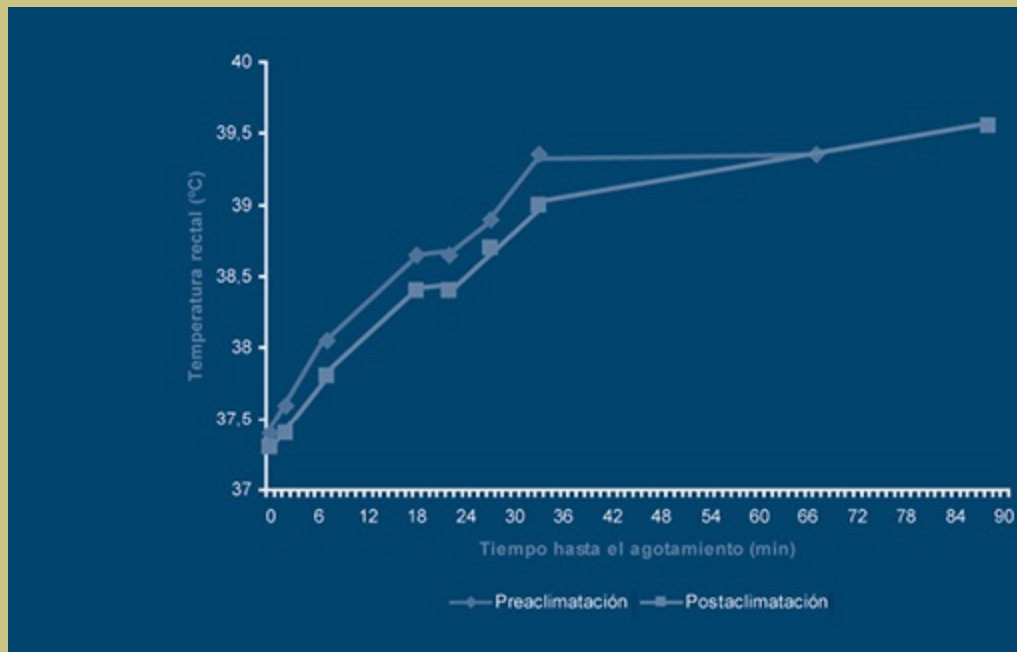


FIGURA 4.53. Ejemplo de mejora del rendimiento a temperatura elevada en un test de resistencia intermitente después de un período de aclimatación. El entrenamiento en condiciones adversas de temperatura elevada (en este caso 30,5 °C) permite adaptaciones en el deportista que causan una mejora de su rendimiento. Considérese, en consecuencia, la importancia de establecer períodos de aclimatación para competiciones en las que se prevea unas condiciones ambientales adversas.

Adaptado de Sunderland C et al. A heat acclimation protocol for team sports. Br J Sports Med 2008;42:327-33.

La realización de períodos **de aclimatación** de 7-14 días (figura 4.53) y la

ingesta de líquidos durante el esfuerzo (figura 4.54) son determinantes para disminuir la pérdida de rendimiento asociada a la realización de un esfuerzo de larga duración en condiciones ambientales adversas. Mediante la aclimatación, los umbrales de temperatura tanto para la vasodilatación cutánea como para el inicio de la sudoración descienden, lo que en combinación con el aumento del volumen plasmático mejora la estabilidad cardiovascular. La ingesta de líquidos permite disminuir el grado de deshidratación. Otras estrategias como la inmersión en agua fría antes del esfuerzo, la hiperhidratación previa al esfuerzo y la cantidad y tipo de ropa se han mostrado efectivas para disminuir la temperatura corporal durante el esfuerzo y mejorar el rendimiento deportivo (Wendt *et al.*, 2007). Desde una perspectiva práctica, Wendt *et al.*, (2007) establecen la realización de un período de aclimatación de 7-14 días, ejecutando entrenamientos fraccionados y continuados a una intensidad superior al 50% del VO_2 máx. al menos durante 1 h cada 3 días. Las adaptaciones se podrán mantener al menos 1 semana, pero probablemente menos de 1 mes. Para limitar los efectos negativos de la deshidratación, los autores proponen para esfuerzos superiores a 30 min ingerir 200-300 ml de líquidos cada 10-20 min, preferentemente de bebidas deportivas con un 7% de contenido en hidratos de carbono, pues esto mejora la absorción de agua, e incluir en la hidratación postesfuerzo al menos $50 \text{ mml} \cdot \text{l}^{-1}$ de sodio, que optimiza la retención de agua. Lógicamente las necesidades de ingesta de líquido son dependientes de numerosos factores como la temperatura y la humedad, el tamaño corporal, la intensidad del esfuerzo, el grado de aclimatación y la predisposición genética (Cheuvront *et al.*, 2007).

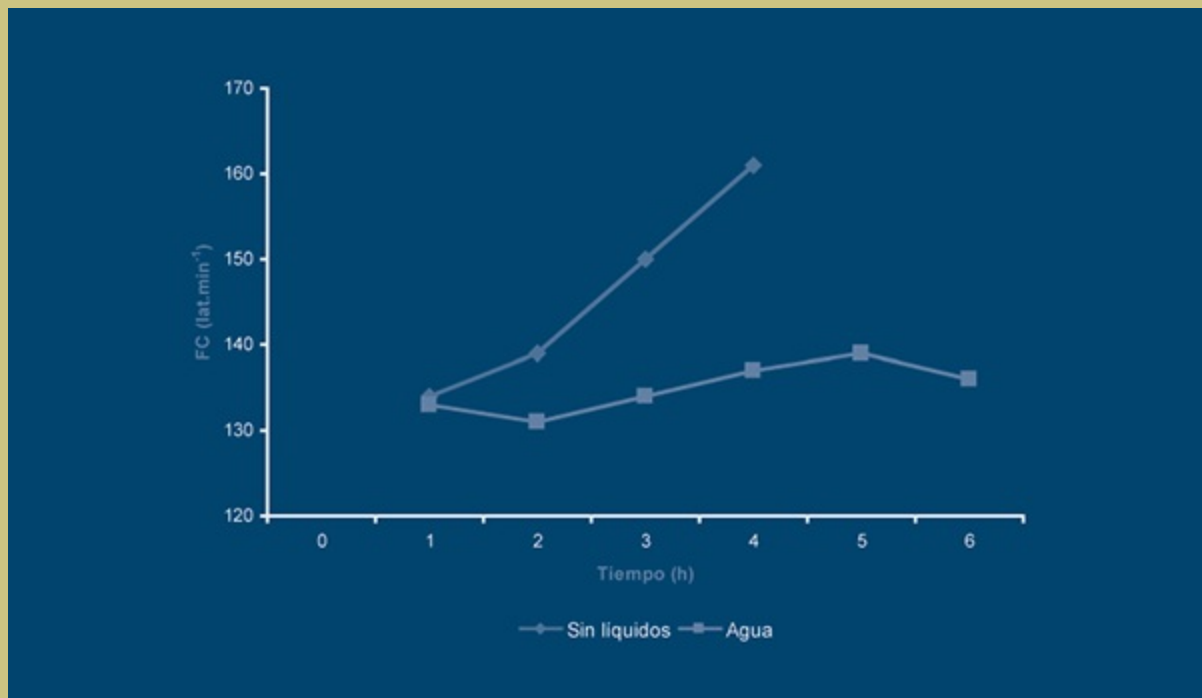


FIGURA 4.54. Efecto de la ingestión de líquidos sobre la FC en una carrera de 6 h en ambiente caluroso. La hidratación es determinante del rendimiento en esfuerzos de larga duración, siendo su importancia relativa todavía mayor cuando el esfuerzo se realiza a una temperatura elevada. Obsérvese que la hidratación permite realizar un esfuerzo de mayor duración y a menor FC.

Adaptado de Barr SI et al. Med Sci Sports Exerc 1991;23:811-7.

Economía de esfuerzo

El principal indicador utilizado para determinar la **economía de esfuerzo** en las pruebas que demandan una energía inferior a la máxima que puede aportar el metabolismo aeróbico es el **estado fijo del $\dot{V}O_2$ para una determinada intensidad** de esfuerzo o velocidad de desplazamiento (Foster y Lucía, 2007). Así, a igualdad de otros parámetros, el deportista que requiera menos $\dot{V}O_2$ para una misma velocidad de desplazamiento está solicitando un % $\dot{V}O_2$ máx. menor y realiza el esfuerzo con menor FC y concentración de lactato, y con una mayor *ratio* de utilización de grasas respecto a los hidratos de carbono. Dependiendo de las características de la competición, todos estos factores le permitirán mantener la intensidad durante más tiempo, incrementar la intensidad en un determinado momento del esfuerzo o

aumentar la intensidad durante toda la competición. La economía de esfuerzo es relevante porque las diferencias entre deportistas de elite están muy relacionadas con diferencias en este factor (Lucía *et al.*, 2002a). De hecho, se considera que la economía de esfuerzo es uno de los principales factores asociados al elevado rendimiento de los corredores africanos (Lucía *et al.*, 2008; Lucía *et al.*, 2006b).

A modo de ejemplo, se muestran las diferencias en la economía de esfuerzo entre los valores normativos propuestos para la población sana por el ACSM (Colegio Americano de Medicina del Deporte) y los observados en corredores de elite europeos y africanos (Lucía *et al.*, 2008) (figura 4.55). De especial interés es que, debido a las dificultades para mejorar el VO_2 máx. en deportistas de elite (Coyle, 2005; Legaz-Arrese *et al.*, 2005), la mejora de la economía de esfuerzo puede ser el principal factor que determina un incremento del rendimiento deportivo durante la trayectoria deportiva de estos atletas (Coyle, 2005).

Debe considerarse, sin embargo, que el coste energético refleja la **suma del metabolismo aeróbico y anaeróbico**. Como ya hemos indicado, incluso a intensidades inferiores a la VAM, especialmente en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, la contribución del metabolismo anaeróbico es relevante. De hecho, se ha reportado que las diferencias en la economía de carrera, medida en una prueba progresiva en cinta ergométrica, en grupos homogéneos de corredores de maratón, se deben exclusivamente a la mayor contribución del metabolismo anaeróbico en los atletas con peor rendimiento, no observándose diferencias en el VO_2 ni en el $\%\text{VO}_2$ máx. requeridos a velocidad de competición (Legaz-Arrese *et al.*, 2006). Con los datos descritos en este estudio, si todos los atletas desarrollasen la misma velocidad en competición, los mejores atletas, al tener que tolerar una menor concentración de lactato, podrán incrementar en un determinado momento la intensidad del esfuerzo. En este caso la mejor economía de esfuerzo de los mejores corredores no está determinada por un menor VO_2 , sino por una menor concentración de lactato. En este mismo estudio los autores observaron que la demanda energética atribuida al VO_2 y a la concentración de lactato es equivalente entre maratonianos y maratonianas en el intervalo de intensidad de 8 a 12 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (figuras 4.56 y 4.57). A 14 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, aunque la concentración de lactato fue similar en ambos sexos, las mujeres requirieron un mayor VO_2 . A 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, el coste energético fue superior en las mujeres tanto para el

metabolismo aeróbico como para el anaeróbico. En cambio, a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ no hubo diferencias en el VO_2 entre ambos sexos, pues, mientras que los maratonianos pudieron satisfacer las necesidades energéticas incrementando su VO_2 sin alteraciones importantes de la concentración de lactato, las mujeres alcanzaron su VO_2 máx. teniendo que satisfacer la energía requerida con una elevada participación del metabolismo anaeróbico. De forma análoga, las diferencias en la economía de esfuerzo a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entre ambos sexos son atribuibles al metabolismo anaeróbico.

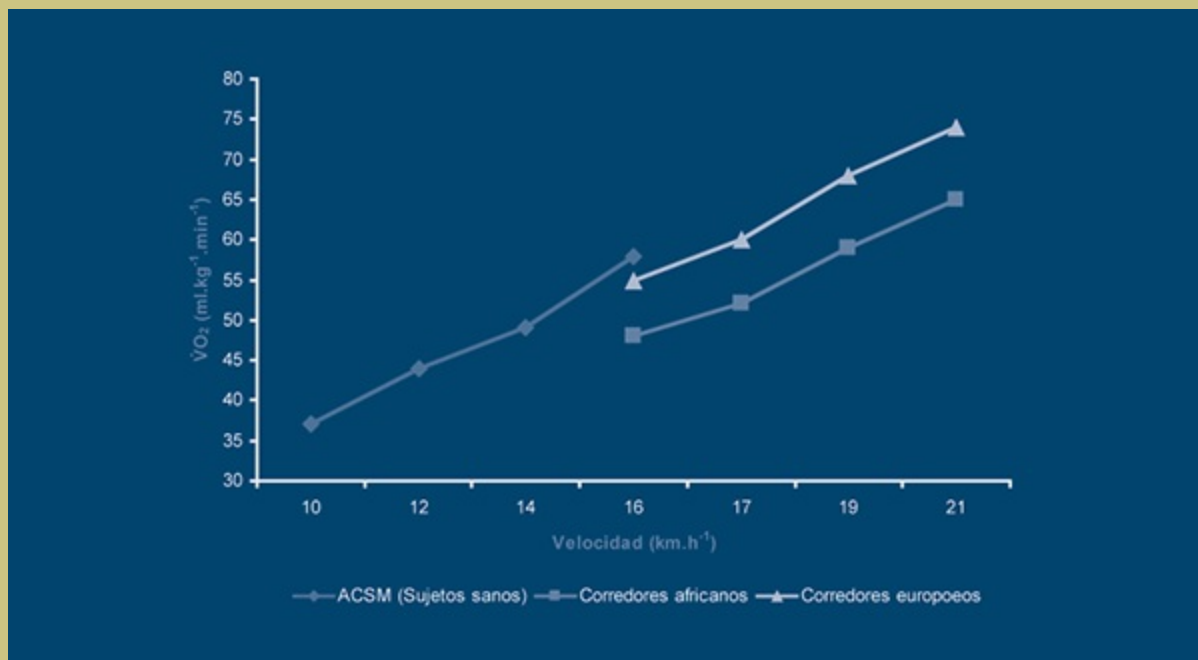


FIGURA 4.55. Diferencias de economía de esfuerzo (VO_2) entre distintos grupos. Los sujetos se diferencian en el VO_2 requerido para desplazarse a una determinada velocidad submáxima. La economía de esfuerzo puede ser uno de los factores diferenciales del rendimiento de los corredores africanos.

Adaptado de Lucía A et al. Br J Sports Med 2008;42:172-4.

En la figura 4.58 se muestra que el coste energético de dos ciclistas de nivel internacional únicamente se diferencia a intensidades elevadas, en este caso, asociándose a un menor VO_2 y a una menor concentración de lactato; esto permite al sujeto “A” desarrollar una mayor VAM. Globalmente, todos estos datos sugieren, tal y como se especifica con detalle en el apartado 6,

que los indicadores de la economía de esfuerzo a intensidades inferiores a la VAM deben ser específicos de la motricidad, metabolismo, intensidad y duración de la competición. En el capítulo 6 se muestran numerosos ejemplos de distintos factores que determinan una mejora de la economía de esfuerzo en modalidades deportivas de larga duración.

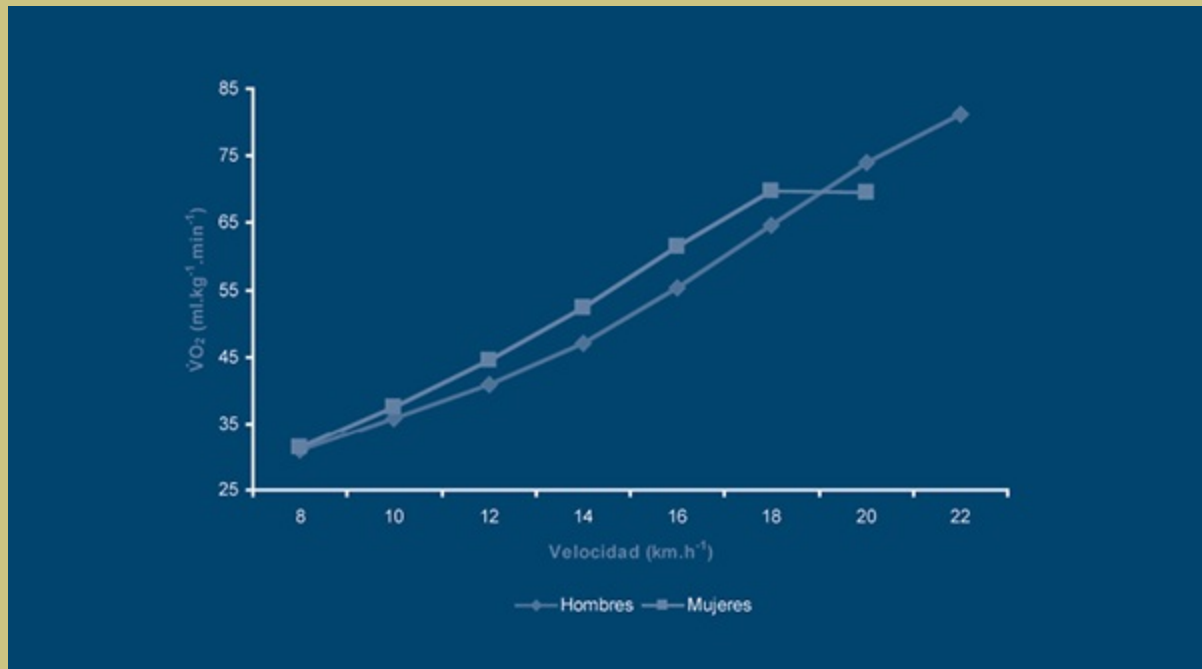


FIGURA 4.56. Relación VO_2 /intensidad en maratonianos de elite de ambos sexos. A intensidades muy bajas, el VO_2 es similar en ambos sexos, y a intensidades relativas superiores, las diferencias no son muy acusadas. **FIGURA 4.56. Relación**

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. Int J Sports Med 2006;27:289-95.

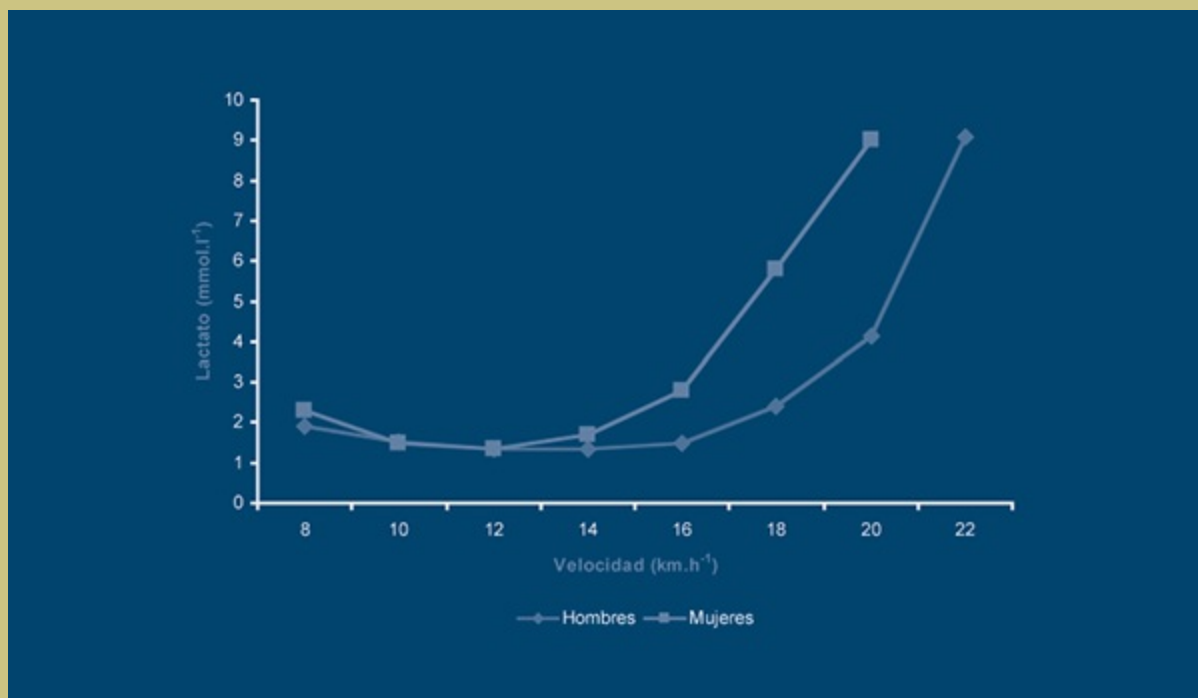


FIGURA 4.57. Relación lactato/intensidad en maratonianos de elite de ambos sexos. A intensidades muy bajas, la concentración de lactato es similar en ambos sexos, mientras que a intensidades superiores a 14 km·h⁻¹ existe una concentración muy superior en el grupo de mujeres.

Adaptado de Legaz-Arrese A et al. Int J Sports Med 2006;27:289-95.

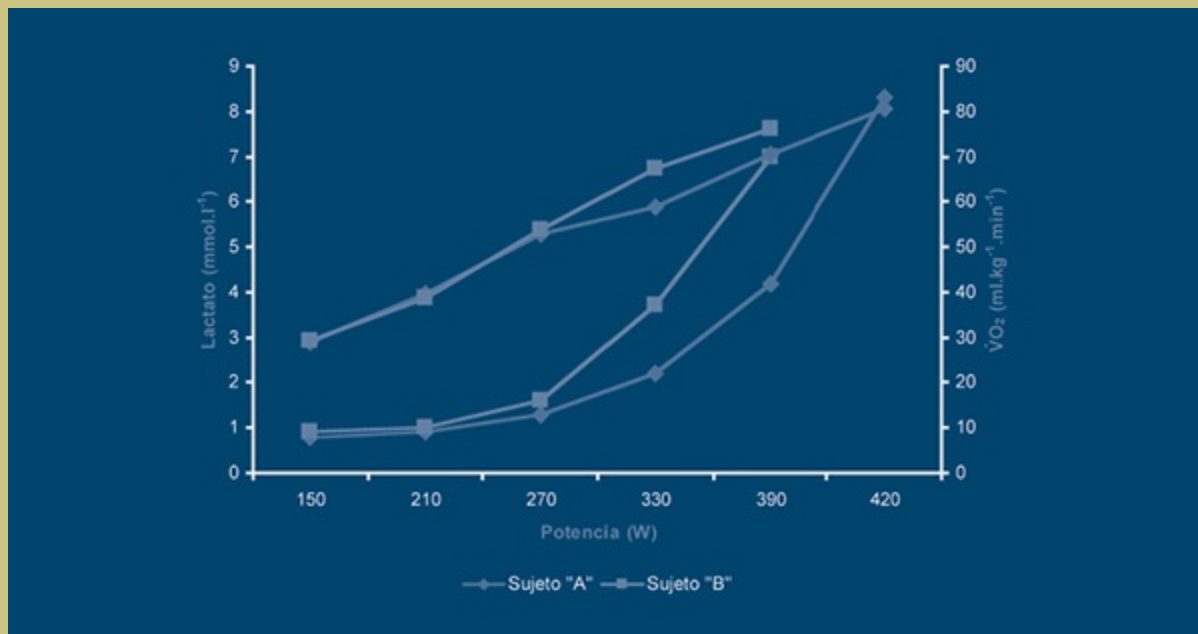


FIGURA 4.58. Relación coste energético/intensidad en dos ciclistas de nivel internacional. La economía de esfuerzo asociada al metabolismo aeróbico y anaeróbico es equivalente en los dos ciclistas para una intensidad relativa baja. A intensidades más elevadas, el sujeto "A" requiere menor VO_2 y presenta menor concentración de lactato. Su mejor economía de esfuerzo, más que las diferencias del VO_2 máx., determina que manifieste mayor WAM.

Original de los autores con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

Fuerza resistencia

De forma equivalente a lo establecido para esfuerzos que requieren mayor energía que la aportada por el VO_2 máx., en esfuerzos cuyo requerimiento energético es inferior al potencial aeróbico, el incremento de la **fuerza resistencia** está asociado a una mejora de la economía de esfuerzo. En este caso el deportista necesita menor eficiencia aeróbica o eficiencia aeróbica-anaeróbica para desarrollar la misma velocidad de desplazamiento y, en consecuencia, poder incrementar la velocidad en cualquier momento de la competición.

2.4. Límites temporales de los conceptos

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

fisiológicos y mecánicos de los esfuerzos continuos de intensidad constante

El objetivo de este apartado es definir los conceptos fisiológicos y mecánicos determinantes de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante, así como justificar y establecer sus límites temporales. Concretamente, se establece una síntesis de los resultados de investigación y reflexiones establecidas en los apartados anteriores, con el fin de establecer los indicadores más relevantes que nos permitan determinar los factores de rendimiento en función de la duración de la competición.

Potencia anaeróbica aláctica

- *Definición.* Máxima obtención de energía por unidad de tiempo mediante la degradación de la PCr y la hidrólisis del ATP.
- *Justificación de los límites temporales.* La vía anaeróbica aláctica es la que permite obtener mayor cantidad de energía por unidad de tiempo; por ello es determinante en los esfuerzos de muy corta duración. El tiempo que se puede mantener la potencia aláctica máxima es dependiente de la capacidad de los depósitos de PCr. Los depósitos de PCr se deplecionan casi completamente durante la ejecución de un esfuerzo a intensidad máxima en 6 seg. En pruebas de una duración superior a 15 seg se requiere una regulación táctica del esfuerzo, no siendo el deportista capaz de desarrollar la máxima velocidad de desplazamiento ni de manifestar su potencia aláctica. En consecuencia, únicamente para una **duración inferior a 15 seg** se manifiesta la potencia aláctica máxima en **los primeros 6 seg.**

Capacidad anaeróbica aláctica

- *Definición.* Disponibilidad y depleción de los depósitos de PCr.
- *Justificación de los límites temporales.* El metabolismo aláctico requiere ATP y PCr. Sin embargo, su capacidad está determinada exclusivamente por la PCr debido a que el organismo nunca agota su concentración de ATP. Difícilmente un deportista es capaz de agotar totalmente sus reservas de PCr. En consecuencia, la capacidad aláctica de un deportista está

influida por la cantidad de PCr y por su capacidad de depleción. Como se ha indicado, a partir de 6 seg de un esfuerzo realizado a la intensidad máxima la energía derivada del metabolismo aláctico es insignificante. Aunque no se dispone de datos, difícilmente el rendimiento de un deportista de elite en esfuerzos de 3-4 seg va a estar limitado por su baja capacidad aláctica. Desde esta perspectiva, la capacidad aláctica de un deportista va a limitar su rendimiento en el intervalo de 4-7 seg. Sin embargo, la menor intensidad desarrollada en esfuerzos de hasta 45 seg permite que el deportista no requiera la máxima potencia del metabolismo aláctico y, en consecuencia, reserve parcialmente su depósito de PCr para los últimos metros. Para una duración superior a 45 seg, la influencia relativa de la capacidad aláctica es muy baja. En consecuencia, la capacidad aláctica puede limitar de forma significativa el rendimiento de un deportista en esfuerzos máximos continuos de **6 a 45 seg**.

Eficiencia anaeróbica aláctica

- *Definición.* Diferencia porcentual entre la velocidad de resíntesis del ATP por unidad de tiempo por vía anaeróbica aláctica y la potencia anaeróbica aláctica.
- *Justificación de los límites temporales.* Se ha justificado que la velocidad de resíntesis del ATP por vía aláctica puede limitar el rendimiento en esfuerzos inferiores a 45 seg. En esfuerzos inferiores a 6 seg el deportista es capaz de manifestar la potencia aláctica. Así pues, en esfuerzos de **6 a 45 seg** se puede optimizar el rendimiento incrementando el porcentaje de utilización de potencia aláctica.

Potencia anaeróbica láctica

- *Definición.* Máxima obtención de energía por unidad de tiempo mediante la degradación anaeróbica de los hidratos de carbono.
- *Justificación de los límites temporales.* Al igual que para el metabolismo aláctico, únicamente en **esfuerzos inferiores a 15 seg**, que pueden ser ejecutados a la máxima velocidad de desplazamiento, se manifiesta la potencia anaeróbica láctica durante los **primeros 6 seg** de esfuerzo.

Eficiencia anaeróbica láctica

- *Definición.* Diferencia porcentual entre la velocidad de resíntesis del ATP por unidad de tiempo por vía anaeróbica láctica y la potencia anaeróbica láctica.
- *Justificación de los límites temporales.* En esfuerzos inferiores a 6 min, el requerimiento energético es superior al satisfecho por el VO_2 máx., siendo relevante la velocidad de resíntesis del ATP por la vía anaeróbica láctica. En esfuerzos inferiores a 6 seg, el deportista es capaz de manifestar la potencia láctica. En consecuencia, en esfuerzos de **6 seg a 6 min** se puede optimizar el rendimiento incrementando el porcentaje de utilización de la potencia láctica. La eficiencia anaeróbica láctica disminuye cuando se incrementa la duración, pudiendo diferenciar para este intervalo de esfuerzos una zona de eficiencia anaeróbica láctica de **intensidad muy alta (6-30 seg)**, de **intensidad alta (30-60 seg)**, de **intensidad media (1-2 min)** y de **intensidad baja (2-6 min)**.

Cinética del consumo de oxígeno

- *Definición.* Potencia máxima del metabolismo aeróbico mientras la duración del esfuerzo no posibilita el desarrollo del VO_2 máx.
- *Justificación de los límites temporales.* La aportación energética del metabolismo aeróbico se evidencia desde el inicio del esfuerzo. Sin embargo, el VO_2 máx. no puede desarrollarse hasta 40-60 seg. La potencia o el ritmo de obtención de energía aeróbica que un deportista sea capaz de desarrollar en el transcurso de este intervalo de tiempo es relevante con el fin de que para un determinado requerimiento energético la contribución anaeróbica sea menor. Cuanto menor es la duración del esfuerzo, mayor es la demanda de O_2 y, en consecuencia, la necesidad de un incremento más rápido de la cinética del VO_2 . Sin embargo, en esfuerzos inferiores a 1015 seg, la participación del metabolismo aeróbico es muy baja, por lo que su importancia relativa para el rendimiento es escasa. Aunque en esfuerzos superiores a 1-2 min el ritmo de producción de energía aeróbica en los primeros 4060 seg de esfuerzo es menor, todavía la cinética del VO_2 puede ser relevante para el rendimiento, al menos hasta una duración de esfuerzo en que el deportista requiera desarrollar su VAM, ~ 6 min. Conforme a lo

expuesto, la cinética del VO_2 , aunque con distinto nivel de relevancia, puede limitar el rendimiento en esfuerzos comprendidos entre **10 seg y 6 min.**

Potencia aeróbica o consumo máximo de oxígeno

- *Definición.* Máxima obtención de energía por unidad de tiempo mediante el metabolismo aeróbico.
- *Justificación de los límites temporales.* Como se ha indicado previamente, un deportista tarda 40-60 seg en desarrollar su VO_2 máx. En esfuerzos de una duración ligeramente superior, el deportista, además de requerir su VO_2 máx., para desarrollar la velocidad de competición necesita energía mediante el metabolismo anaeróbico. Sin embargo, en esfuerzos de más de 6 min la demanda energética que puede ser satisfecha por el deportista es inferior a su VO_2 máx. Por consiguiente, el VO_2 máx. es requerido en el intervalo de esfuerzos de **40-60 seg a 6 min.**

Tiempo límite a la velocidad aeróbica máxima

- *Definición.* Máximo tiempo que puede mantenerse la mínima velocidad en la que se requiere el VO_2 máx.
- *Justificación de los límites temporales.* El VO_2 máx. es requerido en esfuerzos de 40-60 seg a 6 min. Como se ha indicado, en este intervalo de tiempo, a menor duración de esfuerzo, mayor velocidad y demanda energética, por lo que, además de requerirse el VO_2 máx., se incrementa la energía que debe ser satisfecha por el metabolismo anaeróbico. Así pues, conforme aumenta la duración del esfuerzo, menor es la energía extra que debe aportar el metabolismo anaeróbico respecto a la aportada por el VO_2 máx. La velocidad a la que el requerimiento energético es satisfecho exclusivamente a nivel del VO_2 máx. se define como VAM. Desde la perspectiva de los límites temporales asociados a los conceptos fisiológicos y mecánicos de la resistencia, la VAM es una más de las infinitas velocidades a las que se puede desplazar un deportista. Como para cualquier otra velocidad, no cabe definir un intervalo de tiempo en el que sea posible mantener la VAM. El máximo tiempo que puede mantenerse la

VAM o el Tlím a VAM es único para cada deportista y depende de su estado de prestación, nivel de rendimiento y modalidad deportiva. El Tlím a VAM para la mayoría de los deportistas está comprendido **entre 3 y 8 min, con un promedio de ~ 6 min.**

Tiempo límite a la velocidad del umbral anaeróbico o del máximo estado estable de lactato

- *Definición.* Máximo tiempo que puede mantenerse la velocidad correspondiente al umbral anaeróbico o máximo estado estable de lactato.
- *Justificación de los límites temporales.* Todas las definiciones y métodos utilizados para determinar el Uan o el MLSS tienen como objetivo principal establecer la velocidad límite en la que los procesos, fundamentalmente metabólicos y cardiorrespiratorios, permanecen estables. Consiguientemente, nosotros utilizamos desde una perspectiva didáctica como equivalentes todos los conceptos asociados al Uan y al MLSS. El principal indicador utilizado como reflejo de la estabilidad fisiológica es el equilibrio de la *ratio* de la producción/eliminación de lactato. A este respecto, la intensidad en la que se evidencia el equilibrio de la *ratio* de la producción/eliminación de lactato se define como la VUan o la VMLSS. De forma análoga a lo establecido para la VAM, no se puede definir un intervalo de tiempo en que se pueda mantener la VUan. El tiempo máximo que puede mantenerse la VUan o el Tlím a VUan es único para cada deportista y depende de su estado de prestación, nivel de rendimiento y modalidad deportiva. El Tlím a VUan se **estima en deportistas de elite en ~ 2 h.**

Eficiencia aeróbica-anaeróbica

- *Definición.* Máxima intensidad relativa a la VAM que puede desarrollarse para una duración de esfuerzo determinada que esté comprendida entre el Tlím a VAM y el Tlím a VUan, o el Tlím desarrollado a una determinada intensidad relativa a la VAM para un intervalo de intensidad comprendido entre la VAM y la VUan.
- *Justificación de los límites temporales.* La eficiencia aeróbica-anaeróbica engloba la zona metabólica correspondiente al intervalo temporal comprendido entre el Tlím a VUan y el Tlím a VAM. El término es

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

justificado porque en este intervalo de intensidad, aunque la demanda energética es fundamentalmente aeróbica, la velocidad es superior a la VUan, con el consiguiente desequilibrio de la *ratio* de la producción/eliminación de lactato. Podríamos establecer tantos Tlím como las infinitas intensidades relativas a la VAM que están comprendidas en el intervalo entre la VAM y la VUan. Igualmente, podríamos establecer tantas intensidades relativas a la VAM como las infinitas duraciones de esfuerzos comprendidas entre el Tlím a VAM y el Tlím a VUan. Lo que sí podemos definir es que el intervalo de tiempo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica está comprendido entre el **Tlím a VAM (~ 6 min)** y el **Tlím a VUan (~ 2 h)**. Dependiendo de la duración o de la intensidad del esfuerzo y del nivel del deportista, la intensidad desarrollada se aproximará en mayor o menor medida a la VAM y la duración del esfuerzo al Tlím a VAM, pudiendo diferenciar para este intervalo de esfuerzos una zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica de **intensidad elevada (6-30 min), media (30-60 min) y baja (1-2 h)**.

Eficiencia aeróbica

- *Definición.* Máxima intensidad relativa a la VAM o a la VUan que cabe desarrollar para un determinado esfuerzo de duración superior al Tlím a VUan, o el Tlím desarrollado a una determinada intensidad relativa a la VAM o la VUan que sea de magnitud inferior a la VUan.
- *Justificación de los límites temporales.* La eficiencia aeróbica engloba la zona metabólica a una intensidad inferior a la VUan. Este intervalo de intensidad puede dividirse en la zona de eficiencia aeróbica I, que define los esfuerzos realizados a una intensidad inferior a la VUae, y la zona de eficiencia aeróbica II, que define los esfuerzos realizados entre la VUae y la VUan. El término es justificado porque en este intervalo de intensidad la demanda energética es aeróbica, y al ser la velocidad inferior a la VUan, no se evidencia desequilibrio de la *ratio* de la producción/eliminación de lactato. No se dispone actualmente de datos para diferenciar los límites temporales asociados a la eficiencia aeróbica I y II. Análogamente a lo establecido para la eficiencia aeróbica-anaeróbica, cabría establecer para la eficiencia aeróbica tantos Tlím como las infinitas intensidades relativas a la VAM o a la VUan que son inferiores a la VUan. Igualmente, podríamos establecer tantas intensidades relativas a la VAM o a la VUan como las

infinitas duraciones de esfuerzos superiores al Tlím a VUan. Lo que sí podemos definir es que todos los **esfuerzos superiores al Tlím a VUan (~2 h)** se desarrollan en la zona de eficiencia aeróbica. Dependiendo de la duración o de la intensidad del esfuerzo y del nivel del deportista, la intensidad desarrollada se aproximará en mayor o menor medida a la VUan, y la duración del esfuerzo, al Tlím de la VUan.

Tolerancia al lactato

- *Definición.* Capacidad para presentar la menor inhibición de la contracción muscular inducida por una determinada concentración de lactato en el músculo.
- *Justificación de los límites temporales.* La concentración de lactato muscular para una determinada duración de esfuerzo está influida por una variedad de factores, principalmente asociados a la motricidad del esfuerzo y al perfil fisiológico del metabolismo aeróbico y anaeróbico del deportista, así como a su capacidad para difundir el lactato del músculo a la sangre. Una mayor tolerancia ante una determinada concentración de lactato muscular permite al deportista completar una mayor duración de esfuerzo a una determinada intensidad, aumentar la intensidad y, por tanto, la concentración de lactato para una determinada duración de esfuerzo y, en su caso, que la disminución de la intensidad en el desarrollo de una duración de esfuerzo determinada sea la mínima posible. Independientemente de estos factores, desde la perspectiva de los límites temporales de los conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuados, el principal indicador de la variación de la concentración de lactato en el músculo es la duración del esfuerzo. El lector puede realizar, al menos didácticamente, una aproximación adecuada a la concentración de lactato asociada a la duración del esfuerzo siguiendo unas directrices básicas: (i) la concentración de lactato se incrementa progresivamente desde el inicio del esfuerzo hasta una duración de 30-35 seg: 8-10 mmol·l⁻¹ en 10 seg y 20-24 mmol·l⁻¹ en 30-35 seg; (ii) a partir de los 30-35 seg, la concentración de lactato disminuye al incrementar la duración del esfuerzo: 8-10 mmol·l⁻¹ a VAM (6 min), 4 mmol·l⁻¹ a VUan (2 h) y menos de 4 mmol·l⁻¹ a intensidades inferiores a la VUan (>2 h); (iii) para cada intervalo de

duración de esfuerzo especificado, que determina el límite máximo y mínimo de concentración de lactato correspondiente a las distintas zonas metabólicas, la concentración de lactato de una determinada duración de esfuerzo se va a aproximar en mayor medida a la concentración de lactato establecida para el límite temporal más cercano cuanto menor diferencia haya en la duración del esfuerzo. Desde esta perspectiva, la concentración de lactato se incrementará en esfuerzos de 8 a 20 seg (de 10 a 15 mmol·l⁻¹) y en esfuerzos de 20 a 35 seg (de 15 a 20-24 mmol·l⁻¹). La concentración de lactato disminuirá en esfuerzos de 35 seg a 2 min (de 20-24 a 15 mmol·l⁻¹), de 2 a 6 min (de 15 a 8 mmol·l⁻¹), de 6 min a 2 h (de 8 a 4 mmol·l⁻¹) y en esfuerzos > 2 h (de 4 mmol·l⁻¹ a menos de 2 mmol·l⁻¹). Como se ha especificado en las tablas 4.1 y 4.2, además del nivel de concentración de lactato, el tiempo de tolerancia y el requerimiento energético por unidad de tiempo son aspectos determinantes en la definición de la tolerancia láctica específica a un esfuerzo. A este respecto, a partir de 30-35 seg, a mayor duración de esfuerzo disminuye el nivel de concentración de lactato y el requerimiento energético por unidad de tiempo, y aumenta el tiempo de tolerancia. Probablemente, ya en esfuerzos de una **duración superior a 15-20 seg** la tolerancia al lactato limita el rendimiento.

Eliminación de lactato

- *Definición.* Capacidad de difundir el lactato del músculo a la sangre.
- *Justificación de los límites temporales.* Se ha especificado que para una **duración superior a 15-20 seg** la concentración de lactato en el músculo puede limitar la intensidad desarrollada. La concentración de lactato muscular es específica de la *ratio* de la producción/eliminación de lactato. La producción de lactato depende de la proporción de energía que para cada duración de esfuerzo es satisfecha por el metabolismo anaeróbico láctico. Cuanto mayor sea la capacidad de un deportista para difundir en el esfuerzo el lactato del músculo a la sangre, menor será la concentración de lactato en el músculo para una misma producción de lactato. De forma análoga a lo establecido para la tolerancia al lactato, esto implica que el deportista podrá completar una mayor duración del esfuerzo a una determinada intensidad, aumentar la intensidad y, por tanto, la concentración de lactato para una determinada duración de esfuerzo, y, en

su caso, que la disminución de la intensidad en el desarrollo de una duración de esfuerzo determinada sea la mínima posible.

Capacidad aeróbica glucolítica

- *Definición.* Disponibilidad y depleción de los depósitos de hidratos de carbono.
- *Justificación de los límites temporales.* En ~ 1 h de esfuerzo máximo continuo un deportista agota sus reservas de hidratos de carbono. En consecuencia, difícilmente una mayor capacidad aeróbica glucolítica va a optimizar el rendimiento en esfuerzos inferiores a 1 h. En esfuerzos de mayor duración se evidencia una regulación de la utilización de los hidratos de carbono como consecuencia del progresivo incremento del metabolismo de las grasas y el menor requerimiento energético por unidad de tiempo. En este caso, en función de la duración del esfuerzo, una mayor capacidad aeróbica glucolítica va a permitir desarrollar una mayor intensidad relativa a la VAM o a la VUan, o que el Tlím a una determinada intensidad relativa sea superior. Así, todos los **esfuerzos superiores a 1 h** pueden ser optimizados por una mayor capacidad aeróbica glucolítica.

Movilización de grasas

- *Definición.* Máxima potencia de utilización del metabolismo de las grasas para una determinada duración de esfuerzo.
- *Justificación de los límites temporales.* Como se ha especificado, a partir de 1 h de esfuerzo máximo continuo, la capacidad aeróbica glucolítica limita la intensidad y se incrementa la participación relativa del metabolismo de las grasas. En consecuencia, de forma análoga a lo establecido para la capacidad aeróbica glucolítica, para cualquier duración del esfuerzo superior a 1 h, una mayor potencia o participación relativa del metabolismo de las grasas va a permitir desarrollar una mayor intensidad relativa a la VAM o a la VUan, o bien desarrollar una intensidad equivalente con menor depleción de los hidratos de carbono, lo que permitirá incrementar en un determinado momento la intensidad del esfuerzo. En su caso, una mayor participación relativa de las grasas incrementará el Tlím para una determinada intensidad relativa como consecuencia de una menor degradación por unidad de tiempo de los

hidratos de carbono. Así, al igual que lo establecido para la capacidad aeróbica glucolítica, todos los **esfuerzos superiores a 1 h** pueden ser optimizados por una mayor participación relativa de las grasas.

Termorregulación y tolerancia al desequilibrio térmico corporal

- *Definición.* Capacidad de mantener para un determinado esfuerzo y determinadas condiciones ambientales el menor desequilibrio del equilibrio térmico corporal, así como la capacidad de que un mismo grado de desequilibrio térmico altere en menor medida los procesos fisiológicos, la intensidad y la duración del esfuerzo.
- *Justificación de los límites temporales.* Cuando se realiza un esfuerzo físico, la regulación de la temperatura corporal se dificulta como consecuencia del incremento del calor metabólico, especialmente cuando la temperatura ambiental y/o la humedad relativa son elevadas. Para un determinado esfuerzo y determinadas condiciones ambientales, el grado de desequilibrio térmico es dependiente de la capacidad de termorregulación que tiene cada deportista. También es variable entre deportistas el grado de alteración de los procesos fisiológicos asociados al desequilibrio térmico y, en consecuencia, la intensidad y duración del esfuerzo.
Independientemente de la distinta capacidad de termorregulación y de tolerancia al desequilibrio térmico corporal que tiene cada deportista, existe un incremento de la temperatura corporal asociada a la duración del esfuerzo. En un esfuerzo de ~ 30 min el incremento de temperatura corporal es de una magnitud considerable. En consecuencia, los factores asociados al nivel de termorregulación y de tolerancia al desequilibrio térmico, aunque pueden afectar el rendimiento en esfuerzos de menor duración, adquieren especial relevancia para los esfuerzos de una **duración superior a 30 min**, especialmente si las condiciones ambientales dificultan en mayor medida la regulación de la temperatura corporal.

Equilibrio hidroelectrolítico y tolerancia a la alteración hidroelectrolítica

- *Definición.* Capacidad de mantener para un determinado esfuerzo y unas

condiciones ambientales el menor desequilibrio hidroelectrolítico, así como la capacidad de que un mismo grado de desequilibrio hidroelectrolítico altere en menor medida los procesos fisiológicos, la intensidad, y la duración del esfuerzo.

- *Justificación de los límites temporales.* Como se ha indicado previamente, en esfuerzos superiores a 30 min se produce un incremento de la temperatura corporal que limita el rendimiento. En la misma medida aumenta la necesidad de que el organismo a través de distintos mecanismos elimine calor corporal, fundamentalmente incrementando los niveles de sudoración. El aumento de sudoración es de mayor magnitud en condiciones de temperatura y/o humedad ambiental elevada. Esto implica una pérdida progresiva de agua y desequilibrio de iones, que determinan numerosas alteraciones fisiológicas que en mayor o menor medida conducen a una limitación del rendimiento. Una óptima temporalización durante el esfuerzo de ingesta de líquidos con adecuada concentración de iones permite regular los procesos fisiológicos y minimizar la pérdida de rendimiento. En esfuerzos de una duración superior a 1 h, la concentración de glucosa en la bebida es también determinante de la *ratio* de obtención de energía mediante el metabolismo aeróbico glucolítico. De forma análoga a lo establecido para la termorregulación, los factores asociados al nivel de regulación hidroelectrolítica y de tolerancia a su desequilibrio pueden ser determinantes para el rendimiento en esfuerzos de una **duración superior a 30 min**; sus efectos negativos se incrementan en deportistas con peor capacidad de termorregulación, con una inadecuada ingesta y asimilación de líquidos, y en condiciones ambientales adversas.

Economía del esfuerzo

- *Definición.* Capacidad de requerir el menor gasto energético para una determinada duración e intensidad del esfuerzo.
- *Justificación de los límites temporales.* La economía del esfuerzo determina en qué medida la energía bioquímica es transformada eficazmente en energía mecánica en unos determinados condicionantes motores y de duración e intensidad del esfuerzo. Todos los esfuerzos máximos continuos están limitados por el potencial metabólico del deportista. Un menor gasto energético por unidad de tiempo del potencial metabólico determina, para cualquier duración del esfuerzo, una mayor velocidad del desplazamiento o, para una determinada velocidad del desplazamiento, una mayor duración del esfuerzo. En consecuencia, la economía del esfuerzo es limitante del rendimiento **en todos los esfuerzos**.

Fuerza resistencia

- *Definición.* Capacidad de requerir un menor porcentaje de fuerza máxima para una duración y una intensidad determinadas del esfuerzo.
- *Justificación de los límites temporales.* La aplicación de fuerza resistencia es inherente a todos los esfuerzos máximos continuos que requieren la capacidad de resistencia. En consecuencia, la fuerza resistencia es limitante del rendimiento **en todos los esfuerzos**.

2.5. Factores de rendimiento específicos de los esfuerzos continuos de intensidad constante

El objetivo de este apartado es delimitar los **factores de rendimiento específicos** asociados a las distintas duraciones de esfuerzos realizados a intensidad constante. Este análisis representa el objetivo final de la fundamentación realizada sobre los conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a los esfuerzos máximos continuos de intensidad constante, y consiste básicamente en seleccionar los factores coincidentes en sus **límites temporales** con una determinada **duración del esfuerzo**. Realmente, la reflexión del lector debe permitirle, conforme a la asimilación de los

contenidos precedentes, determinar los factores de rendimiento específicos para cualquier duración del esfuerzo, constituyendo este análisis el mejor procedimiento para conocer el grado de asimilación de los contenidos expuestos anteriormente.

En la tabla 4.3 se establece un marco conceptual que define, para los esfuerzos máximos continuos, la relación entre las distintas zonas metabólicas con sus correspondientes límites fisiológicos y sus factores de rendimiento determinantes. Así, los análisis previos nos han permitido diferenciar tres zonas metabólicas: eficiencia anaeróbica para todos los esfuerzos delimitados por el Tlím a potencia aláctica y láctica (~ 6 seg) y el Tlím a VAM (~ 6 min); eficiencia aeróbica-anaeróbica para todos los esfuerzos delimitados por el Tlím a VAM (~ 6 min) y el Tlím a VUan (~ 2 h), y eficiencia aeróbica delimitada por la VUan y su Tlím (~ 2 h). Para una determinada duración del esfuerzo, el desarrollo de su zona metabólica y de sus límites fisiológicos es determinante para optimizar el rendimiento. El desarrollo de una determinada zona metabólica está asociado a la influencia de numerosos factores determinantes. Siguiendo los límites temporales establecidos para los distintos factores, el **desarrollo de la zona de eficiencia anaeróbica** requiere la optimización de sus límites fisiológicos y de la capacidad anaeróbica aláctica, cinética del VO_2 , VO_2 máx., tolerancia al lactato, economía del esfuerzo y fuerza resistencia. El **desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** requiere, además de la optimización de sus límites fisiológicos, el desarrollo de la capacidad aeróbica glucolítica, movilización de grasas, equilibrio térmico e hidroelectrolítico, tolerancia al lactato, economía del esfuerzo y fuerza resistencia. Similares factores se requieren para el **desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica**, aunque con distintos condicionantes, como veremos posteriormente.

TABLA 4.3. Zonas metabólicas de los esfuerzos continuos y su asociación con los límites fisiológicos y factores de rendimiento determinantes

<i>Zona metabólica</i>	<i>Límites fisiológicos</i>	<i>Factores determinantes</i>
Eficiencia anaeróbica (6 seg-6 min) muy alta: 6-30 seg alta: 30-60 seg media: 1-2 min baja: 2-6 min	Superior potencia aláctica y láctica y sus Tlím (~ 6 seg) Inferior VAM y su Tlím (~ 6 min)	Capacidad anaeróbica aláctica (6-45 seg) Cinética $\dot{V}O_2$ (15 seg-6 min) $\dot{V}O_2$ máx. (40 seg-6 min) Tolerancia a concentración de lactato ($> 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) Economía del esfuerzo Fuerza resistencia específica
Eficiencia aeróbica-anaeróbica (6 min-2 h) alta: 6-30 min media: 30-60 min baja: 1-2 h	Superior VAM y su Tlím (~ 6 min) Inferior $\dot{V}U_{an}$ y su Tlím (~ 2 h)	Capacidad aeróbica glucolítica ($>1 \text{ h}$) Movilización de grasas ($>1 \text{ h}$) Equilibrio térmico e hidroelectrolítico ($>30 \text{ min}$) Tolerancia a concentración de lactato ($4-8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) Economía del esfuerzo Fuerza resistencia específica
Eficiencia aeróbica ($>2 \text{ h}$) alta: 2-3 h baja: $>3 \text{ h}$	Superior $\dot{V}U_{an}$ y su Tlím (~ 2 h)	Capacidad aeróbica glucolítica Movilización de grasas Equilibrio térmico e hidroelectrolítico Tolerancia a concentración de lactato ($<4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) Economía del esfuerzo Fuerza resistencia específica

Original de los autores.

El marco conceptual presentado nos sirve de referencia para establecer los factores de rendimiento que hay que optimizar para una determinada duración de esfuerzo. Sin embargo, se requiere un análisis más específico para establecer la **importancia relativa de cada factor** en función de la **duración del esfuerzo**. La delimitación de los intervalos de duración del esfuerzo seleccionados para la presentación de los contenidos se basa en la coincidencia de los factores que determinan su rendimiento.

Esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg

Los **esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg** se desarrollan en la parte inicial a la intensidad correspondiente a la **potencia anaeróbica aláctica y láctica** del deportista, y en la parte final en la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica**. Desde la perspectiva de la fuerza, la potencia aláctica está asociada a la optimización de la **fuerza explosiva**. En un esfuerzo máximo continuo superior a 6 seg no se puede mantener la máxima producción de energía por unidad de tiempo, evidenciándose, en consecuencia, un descenso de la velocidad de desplazamiento, asociándose desde la perspectiva de la fuerza al desarrollo de la **fuerza resistencia**. En los

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

esfuerzos inferiores a 6 seg, los factores asociados a la resistencia no limitan el rendimiento. El descenso de la velocidad en esta temporalidad de esfuerzo está directamente asociado a la imposibilidad de continuar obteniendo energía mediante el metabolismo anaeróbico aláctico. Por tanto, únicamente en los primeros 6 seg de esfuerzo el desarrollo de una mayor **potencia anaeróbica aláctica** va a permitir aumentar la producción de energía por unidad de tiempo, lo que conduce a una mayor velocidad de desplazamiento. De forma análoga, una mayor **capacidad anaeróbica aláctica**, desarrollada por un incremento de las reservas de PCr y/o por una mayor capacidad de depleción, determina que la cantidad total de energía obtenida durante el esfuerzo por el metabolismo anaeróbico aláctico se incremente. Esto, inevitablemente, conduce a un aumento de la velocidad de desplazamiento, sea permitiendo mantener la misma temporalidad de utilización del metabolismo aláctico, en el caso de desarrollar mayor potencia aláctica, sea, en su defecto, aumentando el tiempo que puede desarrollarse la potencia aláctica retrasando lo máximo posible el inevitable descenso de velocidad inherente a esta temporalidad de esfuerzos.

Siguiendo los límites temporales establecidos, en esta temporalidad únicamente en los primeros 6 seg de esfuerzo se manifiesta la potencia anaeróbica láctica. El desarrollo de una mayor **potencia anaeróbica láctica** va a permitir incrementar la producción de energía, asociándose a una mayor velocidad de desplazamiento en este intervalo de tiempo. La vía anaeróbica láctica satisface casi exclusivamente el requerimiento energético del intervalo de 6 a 10 seg. El desarrollo de la **eficiencia anaeróbica** sobre la base de un nivel óptimo de potencia anaeróbica aláctica y láctica inducirá un menor descenso de la velocidad en los últimos segundos. En la temporalidad de esfuerzo de 6 a 10 seg se requiere satisfacer el requerimiento energético con una concentración de lactato relativamente elevada (8-10 mmol·l⁻¹). El nivel de lactato y el poco tiempo de tolerancia inducen a pensar que la **tolerancia y la eliminación de lactato** no son determinantes del rendimiento en esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 6 y 10 seg. Una excesiva participación relativa del metabolismo aeróbico en esfuerzos de 6 a 10 seg implica deficiencias del metabolismo anaeróbico, asociadas a la incapacidad para producir mucha energía por unidad de tiempo y/o a la incapacidad para agotar las reservas de PCr, probablemente como consecuencia de un bajo porcentaje de fibras rápidas y de deficientes niveles de fuerza. Por tanto, un buen indicador de eficiencia energética y de rendimiento en estos esfuerzos

es una menor contribución relativa del metabolismo aeróbico. Sin embargo, incluso en deportistas de elite, el metabolismo aeróbico satisface 10-15% del requerimiento energético de un esfuerzo de 10 seg. Determinante del entrenamiento de estos deportistas es desarrollar al máximo las potencias aláctica y láctica y su capacidad aláctica con el fin de minimizar todavía más la participación relativa del metabolismo aeróbico. No obstante, dado que parece inevitable la participación del metabolismo aeróbico, un incremento de la potencia o producción de energía por unidad de tiempo en términos absolutos determina energía extra indicativa de mayor energía total desarrollada durante la prueba, considerando la **cinética del VO₂**, aunque con una importancia relativa baja, un factor del rendimiento en esfuerzos de 6 a 10 seg.

Una mejora de la **economía del esfuerzo** durante el desarrollo de una prueba de 6 a 10 seg permite aprovechar eficazmente el potencial máximo del deportista. En este caso, el factor limitante del potencial del deportista es su capacidad aláctica. Como en este intervalo de tiempo se desarrolla la máxima velocidad posible desde el inicio del esfuerzo, una mayor eficiencia determina únicamente un ahorro en la depleción de las reservas de PCr, permitiendo incrementar ligeramente el tiempo en que se puede manifestar la potencia aláctica y reduciendo la participación relativa del metabolismo aeróbico.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.4 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración está comprendida entre 6 y 10 seg.

TABLA 4.4. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 6 y 10 seg

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
Potencia anaeróbica aláctica y su Tlím		Máxima
Potencia anaeróbica láctica y su Tlím		Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Potencia anaeróbica aláctica y láctica Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica	- Capacidad anaeróbica aláctica	Máxima
	- Cinética del VO ₂	Baja
	- Economía del esfuerzo	Máxima
	- Fuerza explosiva	Máxima
	- Fuerza resistencia específica	Máxima

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg

Los **esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg** corresponden a la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica**. El requerimiento energético por unidad de tiempo de un esfuerzo máximo continuo de una duración de 10 a 30 seg sigue siendo muy elevado. Sin embargo, para maximizar el rendimiento, el deportista regula su esfuerzo, especialmente en el intervalo de mayor duración. Esto implica que el deportista nunca manifiesta su máximo potencial de producción energética y, por tanto, su potencia anaeróbica aláctica y láctica. Aunque este análisis es correcto, la demanda del metabolismo aláctico y láctico por unidad de tiempo en esfuerzos de 10 a 30 seg es tan elevada que únicamente sobre la base de una elevada **potencia aláctica y láctica** podrá el deportista, a través del desarrollo de la **eficiencia** de estas vías metabólicas, manifestar una velocidad de resíntesis del ATP elevada.

Los límites temporales establecidos para la **capacidad anaeróbica aláctica** engloban los esfuerzos comprendidos entre 10 y 30 seg. De hecho, se ha fundamentado que incluso en esfuerzos de una duración ligeramente superior la capacidad aláctica es limitante del rendimiento. Al no desarrollarse la potencia aláctica, las reservas de PCr no se agotan en el mismo tiempo que en los esfuerzos de menos de 10 seg. De hecho, la mayor contribución energética aláctica parece estar asociada con el inicio y el final del esfuerzo. Independientemente de en qué momentos del esfuerzo la participación aláctica es más relevante, de forma análoga a lo establecido en los esfuerzos inferiores a 10 seg, una mayor capacidad aláctica, asociada a un incremento de las reservas de PCr y/o a un incremento de su depleción, determina un aumento de la velocidad en un esfuerzo de 10 a 30 seg, al incrementarse la cantidad total de energía aláctica que satisface el requerimiento energético.

Dos factores han establecido que algunos autores no consideren la **tolerancia al lactato** determinante del rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 10 y 30 seg: (i) la concentración de lactato durante el desarrollo del esfuerzo se incrementa proporcionalmente a su duración, no evidenciándose por tanto un aplanamiento de la relación lactato/tiempo como consecuencia de una inhibición de la contracción muscular asociada a la disminución del pH muscular, lo que determinaría finalmente una disminución de la energía anaeróbica láctica en la parte final

de la prueba; (ii) la concentración de lactato en esfuerzos de una duración ligeramente superior es incluso más elevada, por lo que teóricamente el deportista no ha llegado a su límite máximo de concentración de lactato que induzca una disminución de la velocidad de resíntesis de ATP por la vía láctica. Aunque estas reflexiones aparentemente son fundamentadas, pensamos que probablemente son erróneas o que al menos hay que considerar otros aspectos. Como se ha especificado previamente, está demostrado que para una duración de 10 a 30 seg, si el deportista realiza la máxima intensidad posible desde el inicio del esfuerzo, la velocidad de resíntesis del ATP por la vía láctica disminuye al incrementar la duración del esfuerzo, probablemente como consecuencia de una elevada concentración de lactato muscular. Así pues, la ausencia de aplanamiento en la relación lactato/tiempo en el transcurso de un esfuerzo de 10 a 30 seg parece estar asociada a la regulación del esfuerzo que realiza el deportista.

A tal efecto, el aspecto más interesante de discusión lo constituyen los motivos por los que el deportista necesita regular su esfuerzo para ser más eficiente en el rendimiento. En este sentido se ha fundamentado que en este intervalo de esfuerzos el deportista no desarrolla su potencia láctica, pero que la capacidad que tenga durante el esfuerzo de acercarse lo máximo posible a su potencia mediante el desarrollo de la eficiencia anaeróbica es determinante del rendimiento al aumentar el ritmo de producción de energía. Inevitablemente, una disminución entre la máxima velocidad de resíntesis del ATP por vía láctica que fisiológicamente puede manifestar el deportista y la velocidad de resíntesis desarrollada en el esfuerzo produce un incremento del lactato. Si esta disminución es excesiva, en función del nivel del deportista y la duración del esfuerzo, la mayor concentración de lactato inducirá una inhibición de la contracción muscular en la parte final del esfuerzo. En consecuencia, probablemente el nivel de lactato que es capaz de tolerar el deportista sin que se vea mermada su contribución energética determina su eficiencia anaeróbica y, por tanto, el grado de acercamiento entre la resíntesis del ATP por la vía láctica durante la prueba y su potencia láctica, y, en consecuencia, su velocidad de obtención de energía por la vía láctica y el rendimiento. De hecho, una mayor concentración de lactato al finalizar un esfuerzo de 10 a 30 seg se asocia habitualmente a un mayor rendimiento. Desde esta perspectiva se puede mantener la misma concentración de lactato, aun incrementando la velocidad de resíntesis del ATP por vía láctica, aumentando la capacidad de eliminación de lactato muscular en el transcurso

del esfuerzo.

La contribución del metabolismo aeróbico se incrementa a medida que aumenta la duración del esfuerzo. Un esfuerzo de 30 seg es insuficiente para desarrollar el VO_2 máx. Sin embargo, conforme aumenta la duración en el intervalo de 10 a 30 seg, la participación relativa del metabolismo aeróbico aumenta hasta $\sim 30\%$ del requerimiento total de energía de un esfuerzo de 30 seg (Spencer y Gastin, 2001). En consecuencia, una mayor velocidad de resíntesis aeróbica del ATP, **cinética del VO_2** , incrementa la energía total del esfuerzo asociándose a la mejora del rendimiento.

Este aumento de la energía total puede ser debido a la energía extra aportada aeróbicamente o determinada porque una mayor cantidad de energía aeróbica en el transcurso del esfuerzo puede permitir al deportista desarrollar la misma velocidad reservando en mayor medida los depósitos de PCr y/o disminuir la aportación del metabolismo láctico, y, como consecuencia, poder desarrollar en los últimos segundos más velocidad que otro deportista al afrontarlos con mayor reserva de PCr y menor concentración de lactato.

Se desconoce en qué medida el incremento de energía aeróbica determina estos factores y probablemente está relacionado con la duración dentro de este intervalo de esfuerzos.

Los mismos procesos indicados para la cinética del VO_2 determinan la relevancia de la **economía del esfuerzo** en el rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg. Así, un mejor aprovechamiento de la energía metabólica en forma de energía mecánica produce, manteniéndose el mismo perfil fisiológico, directamente un aumento de la velocidad durante toda la prueba. En su defecto, un deportista más eficiente puede cambiar el perfil fisiológico durante la prueba, desarrollando al inicio del esfuerzo la misma velocidad con menor agotamiento de PCr y menor contribución láctica, y mayor velocidad en la parte final como consecuencia de disponer de mayor cantidad de PCr y menor concentración de lactato.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.5 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración está comprendida entre 10 y 30 seg.

Esfuerzos máximos continuos de 30 seg a 1 min

Los **esfuerzos máximos continuos de 30 seg a 1 min** se sitúan en la

intensidad alta de la zona de eficiencia anaeróbica.

La regulación del esfuerzo en un ejercicio máximo continuo de una duración de 30 seg a 1 min es todavía más evidente que en esfuerzos menos prolongados. Así pues, en esta temporalidad de esfuerzos la velocidad de resíntesis del ATP es significativamente menor, lo que determina que no se desarrolle la potencia aláctica y láctica. Sin embargo, esto no implica que ambas vías metabólicas no sean relevantes para el rendimiento de los esfuerzos de 30 seg a 1 min. Aunque la velocidad de resíntesis del ATP por vía aláctica sea considerablemente inferior a los esfuerzos de menor duración y, por tanto, no se manifieste la potencia aláctica, las reservas de PCr se agotan casi completamente en esta temporalidad de esfuerzos. Esto implica que el desarrollo de la **capacidad aláctica**, asociada a un incremento de sus reservas y/o a un incremento de su depleción como consecuencia de una mayor **eficiencia aláctica**, determina un aumento de la velocidad en un esfuerzo de 30 seg a 1 min al incrementarse la cantidad total de energía desarrollada. Como se ha justificado, el desarrollo de la eficiencia aláctica debe realizarse sobre unos niveles óptimos de **potencia aláctica**. No obstante, debe considerarse que la aportación relativa del metabolismo aláctico en un esfuerzo de 30 seg a 1 min es significativamente inferior que en esfuerzos de menor duración, por lo que en la misma medida debe resaltarse su importancia para el rendimiento.

TABLA 4.5. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 10 y 30 seg

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
Potencia anaeróbica aláctica Potencia anaeróbica láctica		Media Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración alta – Cinética del VO_2 – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Máxima Máxima Media Máxima Máxima

Original de los autores.

Aunque la participación del metabolismo aeróbico adquiere mayor importancia al incrementarse la duración del esfuerzo, todavía para el intervalo de 30 seg a 1 min, el mayor porcentaje del requerimiento energético

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

se satisface con el metabolismo láctico. En consecuencia, de forma análoga a lo establecido para esfuerzos de 10 a 30 seg, un incremento de la velocidad de resíntesis del ATP por vía láctica se asocia a un incremento del rendimiento en esfuerzos de 30 seg a 1 min.

Respecto al intervalo de 10 a 30 seg, en esfuerzos de 30 seg a 1 min, como consecuencia de la mayor duración, la relación lactato/tiempo es menor y la diferencia entre la máxima potencia y la velocidad de resíntesis del ATP vía láctica es mayor. Además, y dependiendo fundamentalmente de la táctica de regulación de esfuerzo que realiza cada deportista, o bien, al contrario de lo especificado en esfuerzos de menos de 30 seg, la concentración de lactato no se incrementa proporcionalmente a la duración del esfuerzo, observándose asociado a una disminución de la velocidad un aplanamiento de la relación lactato/tiempo en la parte final de la prueba; o en su defecto, una mayor regulación del esfuerzo, fundamentalmente asociado a las pruebas de mayor duración, determina que el ritmo máximo de resíntesis del ATP en cualquier momento de la prueba se aleje todavía en mayor medida de la potencia láctica del deportista. Ambos supuestos determinan un alejamiento entre la producción de energía por vía láctica durante la prueba y la potencia láctica del deportista. Sin embargo, desde una perspectiva práctica consideramos que el ritmo de producción de energía anaeróbica es el factor más determinante del rendimiento en esfuerzos de 30 seg a 1 min.

De hecho, diversos estudios han establecido una relación significativa entre la concentración de lactato al finalizar el esfuerzo y el rendimiento (Legaz-Arrese, 2000).

En consecuencia, el desarrollo de la **eficiencia anaeróbica láctica**, sobre la base de unos niveles óptimos de **potencia anaeróbica láctica**, debe constituir probablemente el principal objetivo para optimizar el rendimiento en esfuerzos con una duración de 30 seg a 1 min.

A pesar de que el ritmo de producción de lactato es menor en esfuerzos de 30 seg a 1 min que en esfuerzos de menor duración, la mayor duración del esfuerzo asociada a todavía una elevada contribución del metabolismo láctico al requerimiento energético determina que en este intervalo de tiempo se observen los límites máximos de concentración de lactato.

Al igual que lo establecido para esfuerzos de una duración de 10 a 30 seg, la **tolerancia al lactato** probablemente va a determinar el grado de acercamiento entre la potencia láctica y la velocidad de resíntesis del ATP vía láctica y, en consecuencia, el nivel de lactato.

La principal diferencia es que en esfuerzos de 30 seg a 1 min el deportista debe estar capacitado para tolerar concentraciones más elevadas de lactato y durante más tiempo. Además, en los deportistas que por su táctica en la regulación del esfuerzo hayan alcanzado en el transcurso de éste su límite máximo de tolerancia asociado a una disminución significativa de la velocidad, la tolerancia al lactato va a ser determinante del grado en que disminuye la intensidad. Al igual que ocurre en esfuerzos de menor duración, el grado de difusión a la sangre del lactato muscular es determinante de su concentración durante el esfuerzo y, en consecuencia, del rendimiento.

Probablemente, debido a la menor intensidad del esfuerzo, la velocidad de resíntesis del ATP por vía aeróbica disminuye en esfuerzos de 30 seg a 1 min respecto a esfuerzos de menor duración. Sin embargo, al aumentar la duración del esfuerzo, finalmente el nivel de VO_2 es mayor, alcanzándose incluso el VO_2 máx. en los últimos segundos de un esfuerzo de 40-60 seg. En qué medida un **VO_2 máx.** más elevado puede influir en el rendimiento en esta temporalidad del esfuerzo es desconocido. En todo caso, su importancia relativa parece menor y exclusivamente asociada al tiempo de aprovechamiento.

Desde esta perspectiva, sólo en deportistas que desarrollen su VO_2 máx. muy rápidamente (en ~ 40 seg) y compitan en pruebas de una duración de ~ 1 min podrá considerarse que su VO_2 máx. puede determinar parcialmente el rendimiento. En este caso hay que analizar que el incremento de energía extra aportada aeróbicamente no esté asociado a una disminución del potencial anaeróbico del deportista.

Dada la gran importancia relativa del metabolismo anaeróbico en esta temporalidad de esfuerzos, este análisis es de interés si consideramos que un VO_2 máx. elevado está relacionado con un alto porcentaje de fibras lentas y al desarrollo de las enzimas oxidativas, mientras que el desarrollo del metabolismo anaeróbico se asocia a un elevado porcentaje de fibras rápidas y al desarrollo de las enzimas anaeróbicas.

Es más evidente que un desarrollo de la **cinética del VO_2** , incrementando la velocidad aeróbica de resíntesis del ATP en el esfuerzo, determine en mayor medida la variabilidad del rendimiento en esfuerzos de 30 seg a 1 min. De esta forma, para un determinado nivel de requerimiento energético asociado a una misma velocidad de desplazamiento (figura 4.59a), el aumento del VO_2 que un deportista desarrolla en el transcurso del esfuerzo

conduce inevitablemente a una menor participación relativa del metabolismo anaeróbico (figura 4.59b). En este caso, como consecuencia de la menor concentración de lactato, el deportista podrá incrementar la velocidad de desplazamiento en la parte final del esfuerzo o, en su defecto, aumentar el promedio de requerimiento energético y la velocidad de desplazamiento durante toda la prueba (figura 4.59c).

Al igual que lo establecido en esfuerzos de una duración de 10 a 30 seg, independientemente de que se manifieste con cambios de la cinética metabólica en el transcurso de la prueba, una mejora de la **economía del esfuerzo** en el intervalo de 30 seg a 1 min está asociada a una mejora de la velocidad de desplazamiento.

Los posibles cambios de la cinética metabólica se asocian para este intervalo de esfuerzos con una menor degradación de la PCr y especialmente con una menor concentración de lactato durante el desarrollo de una misma velocidad de desplazamiento; ambos cambios son de conocido efecto beneficioso para desarrollar mayor velocidad que otro deportista en la parte final del esfuerzo.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.6 se detallan los factores de rendimiento específicos que están asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 30 seg y 1 min.

TABLA 4.6. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 30 seg y 1 min

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
Potencia anaeróbica aláctica		Baja
Potencia anaeróbica láctica		Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica	Media
	– Tolerancia lactato a concentración muy alta	Máxima
	– Cinética del $\dot{V}O_2$	Máxima
	– $\dot{V}O_2$ máx.	Baja
	– Economía del esfuerzo	Máxima
	– Fuerza resistencia específica	Máxima

Original de los autores.

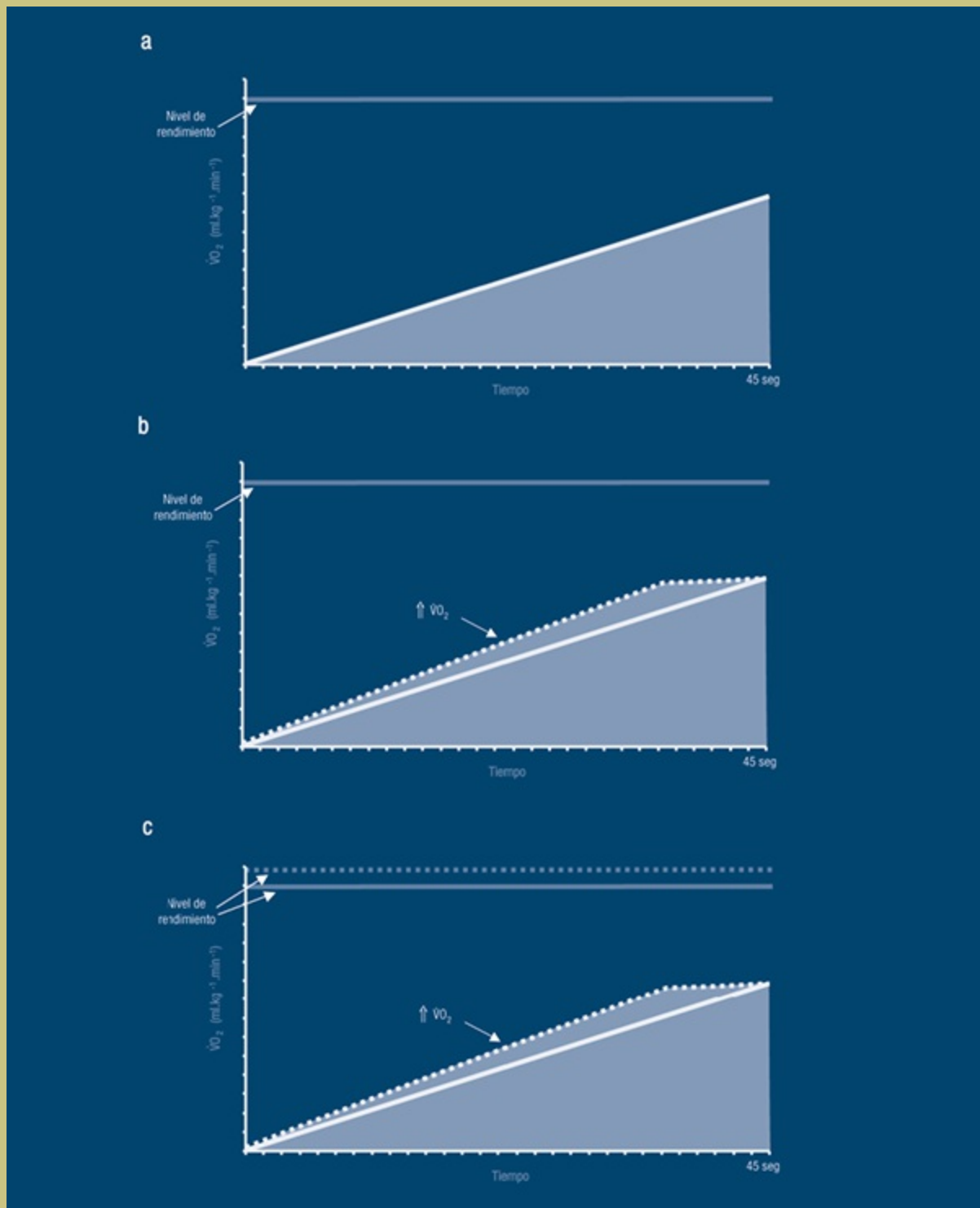


FIGURA 4.59. Requerimiento energético aeróbico y anaeróbico en un esfuerzo de 45 seg (a), su modificación con la mejora de la cinética del $\dot{V}O_2$ (b) y su influencia sobre el nivel de rendimiento (c). El área resaltada representa la contribución del metabolismo aeróbico al requerimiento energético. El resto de energía para satisfacer el

requerimiento que exige el nivel de rendimiento es aportado por el metabolismo anaeróbico. Para un esfuerzo de este intervalo de duración, una mejor cinética del VO_2 determina menor contribución del metabolismo anaeróbico para satisfacer el mismo nivel de rendimiento. Esto determina, si el deportista aporta la misma cantidad de energía mediante el metabolismo anaeróbico, una mayor contribución energética asociada a un incremento del nivel de rendimiento.

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min

Los **esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min** se sitúan en la **intensidad media de la zona de eficiencia anaeróbica**. Se ha analizado que en los esfuerzos máximos continuos de una duración inferior a 1 min el mayor porcentaje de requerimiento energético es sufragado anaeróbicamente. Como consecuencia de la mayor duración de esfuerzo, asociada a un menor requerimiento energético por unidad de tiempo y al aprovechamiento del VO_2 máx., en esfuerzos de 1 a 2 min el mayor porcentaje de energía es satisfecho por el metabolismo aeróbico. No obstante, la participación del metabolismo anaeróbico es relevante debido a que el nivel de requerimiento energético es muy superior al desarrollado por el VO_2 máx. Además, el metabolismo anaeróbico asume la lentitud del metabolismo aeróbico para desarrollar el VO_2 máx. (figura 4.60a).

Como no es posible disponer simultáneamente de niveles muy elevados de velocidad de resíntesis del ATP por vía aeróbica y anaeróbica, el éxito en esfuerzos de una duración de 1 a 2 min se asocia a deportistas que no tienen un desarrollo extremo de ninguna de las vías metabólicas, pero disponen de una capacidad óptima de resíntesis aeróbica y anaeróbica del ATP. Así, por ejemplo, el VO_2 máx. de deportistas con éxito en pruebas incluidas en este intervalo temporal es muy superior al observado en deportistas con éxito en pruebas de menor duración e inferior al de los deportistas que compiten en esfuerzos de mayor duración (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). De acuerdo con este análisis, es en esfuerzos de 1 a 2 min donde se observa una mayor variación del perfil fisiológico de los deportistas (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Un deportista con éxito puede ser capaz de desplazarse a una velocidad elevada obteniendo un mayor porcentaje de la energía necesaria mediante el metabolismo aeróbico, aprovechándose de un VO_2 máx. relativamente más elevado, e, inversamente, otros deportistas pueden obtener el mismo

rendimiento sin necesidad de un $\dot{V}O_2$ máx. tan elevado mediante una mayor contribución del sistema anaeróbico. Desde esta perspectiva, un incremento de la **cinética del $\dot{V}O_2$** (figura 4.60b) y del **$\dot{V}O_2$ máx.** (figura 4.60c) determina que, para un determinado nivel de requerimiento energético asociado a una misma velocidad de desplazamiento, la participación del metabolismo anaeróbico sea menor. En consecuencia, respecto a otro deportista con mayor deficiencia de la cinética del $\dot{V}O_2$ y del $\dot{V}O_2$ máx., afrontará la parte final del esfuerzo con menor concentración de lactato, lo que le permitirá, asumiendo equiparable tolerancia al lactato, desarrollar mayor velocidad en la parte final del esfuerzo, o, en su defecto, llegar a los últimos segundos de la prueba con similar concentración de lactato al haber podido incrementar el promedio de requerimiento energético durante toda la prueba, asociándose a un aumento de la velocidad de desplazamiento (figura 4.60d).

La velocidad desarrollada en un esfuerzo de 1 a 2 min es muy superior a la VAM. Sin embargo, el aprovechamiento eficiente del $\dot{V}O_2$ máx., asociado en consecuencia a una mayor **VAM**, es determinante del rendimiento. Desde esta perspectiva, dos deportistas con $\dot{V}O_2$ máx. equivalente pero con VAM distinta se diferencian en el porcentaje de energía que debe satisfacer el metabolismo anaeróbico para desarrollar una determinada velocidad. Así, el deportista con mayor VAM podrá incrementar la velocidad de competición sin incrementar la participación relativa del metabolismo anaeróbico. Lógicamente, para este intervalo temporal, la importancia relativa de la cinética del $\dot{V}O_2$ disminuye y la del $\dot{V}O_2$ máx. y la VAM se incrementan a mayor duración del esfuerzo.

Este análisis fisiológico es determinante de la regulación táctica de un esfuerzo en el intervalo de 1 a 2 min. Los deportistas con relativamente mayor desarrollo del metabolismo aeróbico se beneficiarían de una velocidad elevada desde el inicio del esfuerzo, porque los deportistas con relativamente mayor desarrollo del metabolismo anaeróbico no podrán manifestar su potencial en la parte final del esfuerzo. Esto se debe a que estos deportistas presentarán relativamente mayor inhibición de la contracción muscular asociada a la concentración superior de lactato que deriva de una mayor participación relativa del metabolismo anaeróbico en el transcurso del esfuerzo. En cambio, los deportistas con mayor desarrollo del metabolismo anaeróbico podrán manifestar su potencial en la parte final de la prueba si

durante el transcurso de ésta la velocidad es relativamente menor. Únicamente en estas circunstancias, la velocidad de resíntesis del ATP por la vía anaeróbica puede aproximarse al final del esfuerzo a la potencia láctica del deportista. Atendiendo al objetivo de este apartado, desde la perspectiva de un análisis efectuado asumiendo una intensidad máxima constante durante todo el esfuerzo, la diferencia entre la potencia láctica del deportista y el ritmo de producción de energía anaeróbica en pruebas de 1 a 2 min es relativamente elevada, incrementándose en relación con la mayor duración de esfuerzo. Desde esta perspectiva, el desarrollo de la **eficiencia anaeróbica** sobre una óptima base de **potencia láctica** es el factor determinante del metabolismo anaeróbico asociado a los esfuerzos de 1 a 2 min. Siguiendo la misma reflexión que en esfuerzos de menor duración, el nivel de eficiencia anaeróbica desarrollado por un deportista en pruebas de 1 a 2 min es dependiente de su capacidad de **tolerancia al lactato**. En pruebas de 1 a 2 min ya no se observa el límite máximo de concentración de lactato tolerable por los deportistas. Sin embargo, la mayor duración del esfuerzo, asociada a todavía una elevada contribución del metabolismo láctico, determina que el deportista debe estar capacitado para tolerar concentraciones muy altas de lactato ($>15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) durante un tiempo relativamente superior. La forma en que un mayor grado de tolerancia al lactato incrementa el rendimiento en un esfuerzo de 1 a 2 min es dependiente de la táctica de regulación del esfuerzo: (i) incrementando el promedio de velocidad de resíntesis anaeróbica del ATP en el curso de toda la prueba; (ii) manteniendo durante más tiempo un posible aumento de la velocidad, y (iii) reduciendo al máximo la disminución de velocidad asociada a un nivel de lactato excesivo. En cualquier supuesto, un mayor grado de difusión de lactato en la sangre va a permitir al deportista desarrollar una determinada velocidad con menor nivel de concentración de lactato.

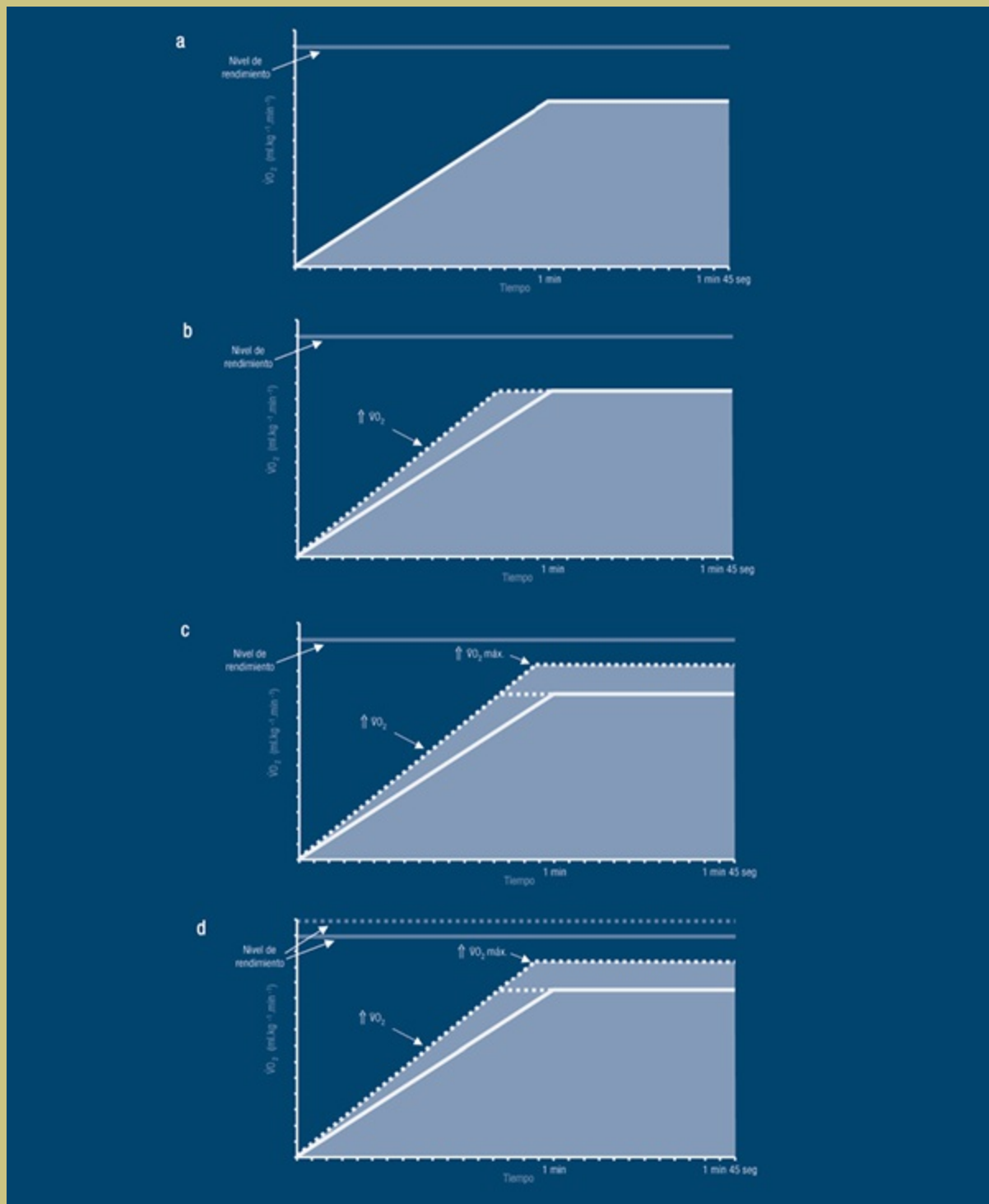


FIGURA 4.60. Requerimiento energético aeróbico y anaeróbico en un esfuerzo de 1 min y 45 seg (a), su modificación con la mejora de la cinética del $\dot{V}O_2$ (b) y del $\dot{V}O_2$ máx. (c) y su influencia sobre el nivel de rendimiento (d). El área resaltada representa la contribución del metabolismo aeróbico al requerimiento energético. El resto de energía

para satisfacer el requerimiento que exige el nivel de rendimiento es aportado por el metabolismo anaeróbico. Para un esfuerzo de este intervalo de duración, una mejor cinética del VO_2 y un mayor VO_2 máx. determinan una menor contribución del metabolismo anaeróbico para satisfacer el mismo nivel de rendimiento. Esto establece, si el deportista aporta la misma cantidad de energía mediante el metabolismo anaeróbico, una mayor contribución energética asociada a un aumento del nivel de rendimiento.

Original de los autores.

El grado de depleción de las reservas de PCr es muy elevado en esfuerzos de 1 a 2 min. Sin embargo, consideramos que, si el esfuerzo se realiza a una intensidad constante, la importancia para el rendimiento de la **capacidad anaeróbica aláctica** es muy limitada debido a su escasa contribución al requerimiento total de energía.

Como en esfuerzos de menor duración, la mejora de la **economía del esfuerzo** aumenta el rendimiento en pruebas de 1 a 2 min, incrementando la velocidad media o permitiendo mantener la misma velocidad con menor requerimiento del metabolismo anaeróbico, lo que se asocia al desarrollo de mayor velocidad en la parte final del esfuerzo.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.7 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración está comprendida entre 1 y 2 min.

Esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min

Los **esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min** se sitúan en la **intensidad más baja de la zona de eficiencia anaeróbica**. Este intervalo temporal engloba los esfuerzos cuyo requerimiento energético es equivalente o ligeramente superior a la VAM.

Hemos indicado que, mientras el deportista sea capaz de desarrollar su VO_2 máx., debe considerarse la **cinética del VO_2** como un factor de rendimiento. En efecto, un incremento de la velocidad aeróbica de resíntesis del ATP hasta que el deportista desarrolla su VO_2 máx. causa que la participación del metabolismo anaeróbico para un mismo nivel de requerimiento energético sea menor. El mismo efecto se consigue con un incremento del **VO_2 máx.** asociado a una mayor **VAM**.

TABLA 4.7. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 1 y 2 min

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
Potencia anaeróbica aláctica VO ₂ máx. y VAM		Media Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad media de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración muy alta – Cinética del VO₂ – VO₂ máx. y VAM – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Baja Máxima Máxima Máxima Máxima Máxima

Original de los autores.

El desarrollo de ambos factores produce un incremento del rendimiento al poder desarrollar más velocidad en la parte final del esfuerzo a causa de la menor concentración de lactato, o manteniendo en toda la prueba la misma contribución aeróbica y anaeróbica, incrementando en consecuencia el nivel de requerimiento energético asociado a una mayor velocidad de desplazamiento.

Aunque este análisis es coincidente con el especificado para esfuerzos de 1 a 2 min, debe considerarse que en pruebas de 2 a 6 min la importancia relativa de la cinética del VO₂ es menor, adquiriendo mayor relevancia el nivel del VO₂ máx. asociado a una elevada VAM. Este apunte es todavía más significativo si consideramos que, a diferencia de los esfuerzos de 1 a 2 min, incluso en los esfuerzos de menor duración de este intervalo temporal difícilmente un deportista puede suplir mediante el metabolismo anaeróbico un desarrollo deficiente del VO₂ máx. Lógicamente, en las pruebas de mayor duración de este intervalo temporal el desarrollo eficiente del VO₂ máx. es el factor determinante del rendimiento al coincidir la velocidad de desplazamiento con la VAM.

En este caso, como se representa en la figura 4.61, un deportista con mayor **Tlím a VAM** puede equiparar o superar el rendimiento de un deportista con mejor cinética del VO₂ y la VAM. Así, el sujeto “A” desarrolla mayor VAM, pero su Tlím a VAM es ~ 5 min, mientras que el sujeto “B”, con menor VAM, es capaz de mantenerla en un esfuerzo de 8 min. En estas condiciones, el sujeto “A” o disminuye significativamente su velocidad en los últimos 3

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

min de esfuerzo o desde el inicio de la prueba se desplaza a una intensidad ligeramente inferior a su VAM. Este aspecto no es únicamente una reflexión teórica y debe ser considerado a efectos prácticos en el análisis de las pruebas en las que los deportistas puedan tener dificultades para mantener su VAM (esfuerzos de 4 a 8 min).

Aunque es justificado que el VO_2 máx., la VAM y en su caso el Tlím a VAM sean los factores determinantes de los esfuerzos de 2 a 6 min, la contribución del metabolismo anaeróbico en los deportistas y pruebas en que la velocidad de desplazamiento sea significativamente superior a la VAM no debe despreciarse. En este caso, en función del nivel y características del deportista y de la duración del esfuerzo, el metabolismo anaeróbico puede aportar 20-30% del requerimiento energético total (Spencer y Gustin, 2001; Duffield *et al.*, 2005). Es cierto que con estos condicionantes incluso en los esfuerzos con mayor participación del metabolismo anaeróbico el desarrollo del VO_2 máx. es el factor más relevante del rendimiento, y que, si consideramos que la intensidad es constante durante toda la prueba, la velocidad de resíntesis anaeróbica del ATP es muy baja respecto a la **potencia láctica** del deportista. Sin embargo, aunque con distinta proporción, el deportista debe perseguir todavía el desarrollo combinado del metabolismo aeróbico y anaeróbico. Un elevado desequilibrio hacia el trabajo del metabolismo aeróbico podría limitar la eficiencia anaeróbica que todavía se precisa en este intervalo temporal de esfuerzos. Qui-zá por este motivo el nivel del VO_2 máx. observado en hombres y mujeres en numerosos grupos homogéneos de corredores de elite que compiten en una prueba de 1.500 m (~ 3 min y 40 seg en hombres, y 4 min y 10 seg en mujeres), al contrario de lo que podría esperarse, es significativamente inferior al nivel del VO_2 máx. observado en corredores que compiten en distancias de mayor duración (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Este dato justifica en cierta medida la importancia relativa de la **eficiencia anaeróbica** asociada a un incremento de la velocidad de resíntesis del ATP por esta vía metabólica, lo que permitirá al deportista incrementar lo máximo posible el requerimiento energético respecto al aportado por el VO_2 máx. Este análisis está refrendado si consideramos que en pruebas de atletismo de ~ 8 min (3.000 m y 3.000 m obstáculos), en las que la aportación del metabolismo anaeróbico como energía extra a la aportada por el VO_2 máx. es insignificante, el nivel del VO_2 máx. observado en deportistas de ambos sexos es significativamente superior

al descrito en corredores de 1.500 m y equiparable al de corredores de distancias superiores (Legaz-Arrese *et al.*, 2007).

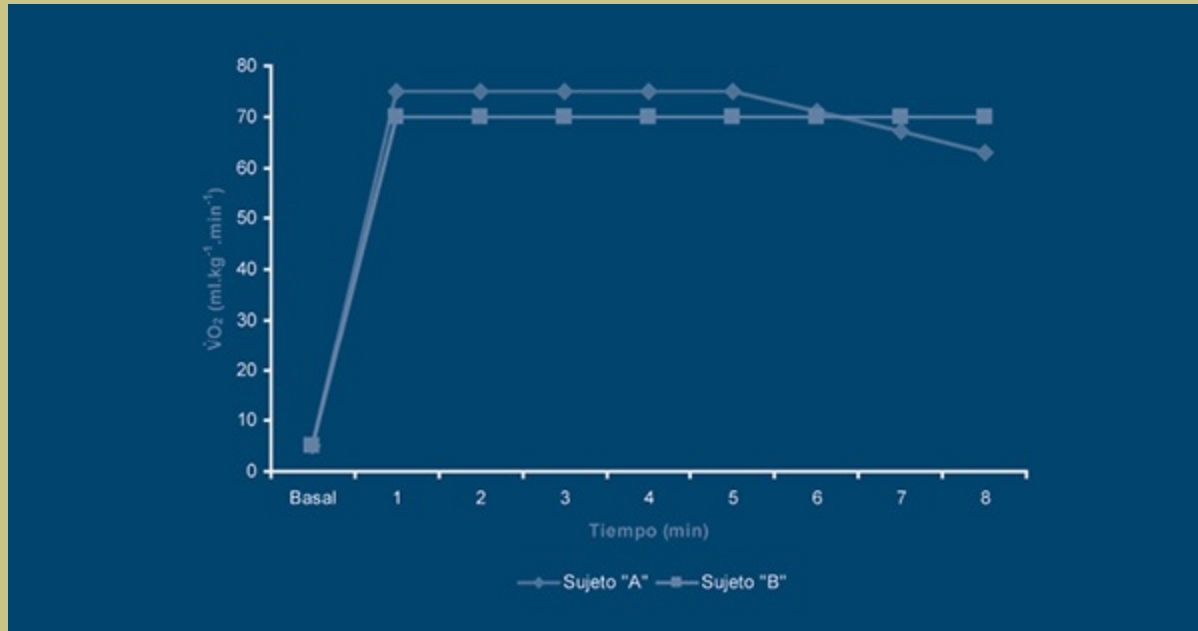


FIGURA 4.61. Importancia del Tlím a VAM en esfuerzos en los que la velocidad de desplazamiento es próxima a la VAM. Para un esfuerzo cuya intensidad sea próxima a la VAM, un deportista con un VO₂ máx. menor puede obtener mejor rendimiento si su Tlím a VAM es superior.

Original de los autores con datos hipotéticos.

En los deportistas que, atendiendo a su perfil fisiológico o a la duración del esfuerzo, compitan en este intervalo temporal a una velocidad significativamente superior a la VAM, el grado de eficiencia anaeróbica asociada a la velocidad de resíntesis del ATP que son capaces de desarrollar está directamente asociado a su nivel de **tolerancia al lactato**. En este caso, si la prueba se disputa a intensidad constante, el deportista debe estar capacitado para tolerar concentraciones de lactato inferiores a las indicadas en esfuerzos de menor duración (<15 mmol·l⁻¹), pero durante un período de tiempo relativamente mayor (~ 2-5 min). A igualdad de condiciones en otros parámetros fisiológicos y mecánicos, ser capaz de disputar una determinada prueba incluida en este intervalo temporal con una mayor concentración de lactato es indicativo de mayor cantidad extra aportada por el metabolismo anaeróbico, conduciendo a un incremento de la velocidad de desplazamiento

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

respecto a la VAM y en consecuencia a una mejora del rendimiento asociado al mayor requerimiento energético. En su defecto, como se ha indicado en pruebas de menor duración, en función de la regulación táctica del esfuerzo, un deportista con mayor nivel de tolerancia al lactato podrá mantener durante más tiempo un posible incremento de velocidad o, en su caso, que la disminución de la velocidad asociada a un nivel de lactato excesivo sea la menor posible. Similar análisis puede indicarse para las pruebas que, bien por el nivel del deportista o por su duración, se disputan a una intensidad equiparable a la VAM. Como la VAM es superior a la VUan, la concentración de lactato todavía es significativa ($\sim 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). El deportista en este caso debe desarrollar su capacidad de tolerar una concentración de lactato menor en un tiempo habitualmente superior ($\sim 5\text{-}6 \text{ min}$). Precisamente la capacidad de tolerancia al lactato es uno de los factores más determinantes del Tlím que es capaz de desarrollar un deportista a la VAM. Lógicamente, por los motivos justificados repetidamente en esfuerzos de menor duración, la capacidad de eliminación de lactato muscular durante el esfuerzo es un factor de rendimiento en pruebas de duración comprendida entre 2 y 6 min.

En este intervalo temporal, una mejoría de la **economía del esfuerzo** en las pruebas disputadas a una velocidad superior a la VAM se asocia a una menor contribución relativa del metabolismo anaeróbico, lo que permitirá desarrollar mayor velocidad en toda la prueba o incrementar en mayor medida la velocidad en un momento determinado. Este proceso, trasladado al intervalo de mayor duración, es uno de los factores que va a diferenciar que los deportistas sean capaces de desarrollar su VAM en pruebas de mayor o menor duración.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.8 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración está comprendida entre 2 y 6 min.

TABLA 4.8. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 2 y 6 min

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
Potencia anaeróbica láctica VO ₂ máx., VAM y Tlím a VAM		Baja Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración media-alta - Cinética del VO₂ - VO₂ máx. y VAM - Tlím a VAM - Economía del esfuerzo - Fuerza resistencia específica	Máxima Media Máxima Máxima Máxima Máxima

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min

Desde el punto de vista metabólico, los **esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min** se sitúan en la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Recordemos que la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica está delimitada por el Tlím a VAM (~ 6 min) y el Tlím a VUan (~ 2 h). En consecuencia, la velocidad desarrollada en un esfuerzo de 6 a 30 min se aproxima en mayor medida a la VAM que a la VUan (figura 4.62a). Así, para este intervalo temporal de esfuerzos, el %VAM y el %VO₂ máx. desarrollado serán mayores en las pruebas de menor duración.

Una de las vías para optimizar el rendimiento en esfuerzos de 6 a 30 min es la mejora de la **eficiencia aeróbica-anaeróbica** del deportista incrementando el %VO₂ máx., y, en consecuencia, el %VAM, solicitado para una duración determinada (figura 4.62b). Sin embargo, como el %VO₂ máx. preciso para satisfacer el requerimiento energético de un esfuerzo de 6 a 30 min está muy próximo al VO₂ máx., el deportista tiene poco margen para optimizar el rendimiento desarrollando su eficiencia aeróbica-anaeróbica. Lógicamente, la posibilidad de mejorar el rendimiento mediante el desarrollo de la eficiencia aeróbica-anaeróbica disminuye en las pruebas de menor duración.

El nivel de requerimiento energético desarrollado por un deportista en este intervalo temporal de esfuerzos está limitado a su VAM, no pudiendo suplir en gran medida su deficiencia mediante el desarrollo de otros factores fisiológicos o mecánicos. De hecho, el VO₂ máx. de los deportistas que

compiten con éxito en pruebas de 6 a 30 min es equiparable a los niveles más elevados descritos en la bibliografía (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Atendiendo a este análisis, para este intervalo temporal de esfuerzos, el desarrollo de la **VAM** asociada a un mayor **VO₂ máx.** constituye la vía principal de optimización del rendimiento. El incremento del VO₂ máx. permite desarrollar el mismo nivel de requerimiento energético asociado a una determinada velocidad de desplazamiento a un menor %VO₂ máx., requiriendo, en consecuencia, menor eficiencia aeróbica-anaeróbica (figura 4.62c). Esto inevitablemente amplía el margen de optimización del rendimiento, desarrollando una eficiencia aeróbica-anaeróbica equiparable sobre la base del nuevo nivel del VO₂ máx. y la VAM, lo que lleva a satisfacer el mayor requerimiento energético asociado a un incremento de la velocidad de desplazamiento (figura 4.62d).

El intervalo de concentración de lactato de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica está delimitado por los niveles establecidos en el Tlím a VUan ($\sim 4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y en el Tlím a VAM ($\sim 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Si el esfuerzo se realiza a intensidad constante, como la velocidad se aproxima a la VAM, los deportistas que compiten en pruebas de 6 a 30 min deben desarrollar la capacidad para tolerar concentraciones de lactato de $\sim 6\text{-}8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. En este intervalo temporal de esfuerzos, la principal dificultad de tolerancia reside, más que en el nivel de concentración de lactato, en la capacidad para mantener una intensidad que es significativamente superior a la VUan durante un tiempo considerable a pesar de una marcada acidez muscular. En cierto modo, la capacidad de **tolerancia al lactato** determina el grado de eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollado para una determinada duración de este intervalo temporal de esfuerzos. Precisamente, los deportistas con mayor desarrollo de esta capacidad podrán mantener una misma concentración de lactato en pruebas de mayor duración, incrementando su eficiencia aeróbica-anaeróbica para esa prueba. En su caso, para una misma duración de esfuerzo, una mayor capacidad de tolerancia implica que para una determinada concentración de lactato el deportista se vea menos afectado por el nivel de acidez muscular, pudiendo incrementar la concentración de lactato en cualquier momento de la prueba desarrollando mayor eficiencia aeróbica-anaeróbica. En su defecto, para una prueba disputada en los límites máximos de tolerancia asociados a la duración del esfuerzo, un deportista con mayor capacidad de tolerancia podrá mantener la velocidad de desplazamiento

durante más tiempo o en su caso disminuir al máximo la reducción de la intensidad. Como se ha indicado para otros esfuerzos de menor duración, en cualquiera de los supuestos establecidos un mayor grado de difusión de lactato a la sangre permitirá al deportista desarrollar una determinada velocidad con menor nivel de concentración de lactato.

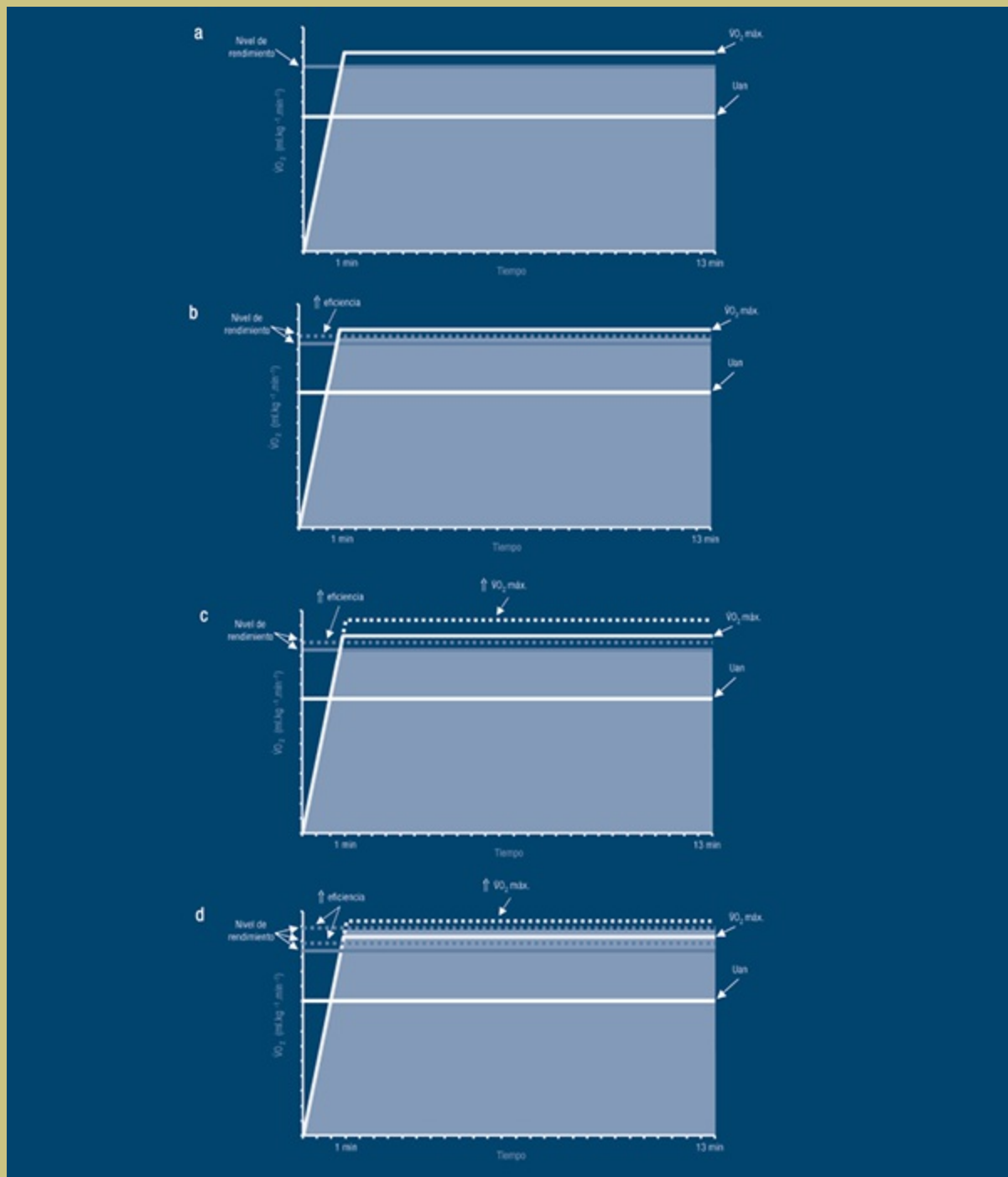


FIGURA 4.62. Requerimiento energético en un esfuerzo de 13 min (a); su incremento manifestado por una mayor eficiencia aeróbica-anaeróbica (b); la posibilidad de incrementarlo aumentando el VO_2 máx. (c), y la manifestación de un mayor nivel de rendimiento sobre la base de un mayor VO_2 máx. (d). El área resaltada representa la contribución del metabolismo aeróbico al requerimiento energético, excluyendo de esta representación la aportación del metabolismo anaeróbico al ser una intensidad superior al

Uan. El nivel de rendimiento asociado al requerimiento energético para un esfuerzo comprendido en este intervalo de duración corresponde a la eficiencia aeróbica-anaeróbica manifestada por el deportista (a). La mejora de la eficiencia aeróbica-anaeróbica es inherente a una mejora del nivel de rendimiento (b). El aumento del rendimiento mediante el desarrollo de la eficiencia aeróbica-anaeróbica está limitado por el VO_2 máx. La mejora del VO_2 máx. amplía el margen de mejora de la eficiencia aeróbica-anaeróbica (c). Compruébese cómo manifestando la misma eficiencia aeróbica-anaeróbica (mismo % VO_2 máx.) el incremento del VO_2 máx. permite un nivel de rendimiento muy superior (d).

Original de los autores.

El desarrollo de la **economía del esfuerzo** permite mantener la velocidad de desplazamiento con menor requerimiento energético. Con ello se logra mantener la velocidad de un esfuerzo de 6 a 30 min solicitando menor eficiencia aeróbica-anaeróbica, asociándose también a una menor concentración de lactato. El deportista podrá, para cualquiera de los supuestos de regulación del esfuerzo establecidos previamente, mejorar el rendimiento equiparando el nivel de eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollado por otro deportista con peor economía del esfuerzo.

Atendiendo a este análisis, en la tabla 4.9 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración está comprendida entre 6 y 30 min.

Esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h

Los **esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h** se sitúan en la **intensidad media de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Desde esta perspectiva, las vías de optimización del rendimiento son equiparables a las establecidas para esfuerzos de 6 a 30 min: (i) incrementar el nivel de requerimiento energético desarrollando mayor eficiencia aeróbica-anaeróbica; (ii) incrementar la VAM asociada a un mayor VO_2 máx. para aumentar el requerimiento energético equiparando la eficiencia aeróbica-anaeróbica al nuevo nivel de VAM y VO_2 máx.; (iii) incrementar el nivel de tolerancia al lactato para desarrollar mayor eficiencia aeróbica-anaeróbica durante toda la prueba o en cualquier momento requerido en función de la regulación táctica de es-fuerzo; (iv) incrementar el grado de eliminación de lactato muscular para incrementar la velocidad de desplazamiento para una misma concentración de lactato, y (v) disminuir el requerimiento energético

para una determinada velocidad mejorando la economía del esfuerzo.

La similitud de los principales factores de rendimiento justifica que deportistas con éxito en pruebas de 6 a 30 min compitan simultáneamente o durante su trayectoria deportiva con un rendimiento semejante en pruebas de 30 min a 1 h (Legaz-Arrese, 2000). No obstante, es posible señalar algunas diferencias entre estos intervalos de esfuerzos. El margen de mejora del rendimiento mediante el desarrollo de la **eficiencia aeróbica-anaeróbica** es sensiblemente mayor en los esfuerzos de 30 min a 1 h. En este caso, aunque la condición óptima es que el deportista desarrolle un **VO₂ máx.** muy elevado, podría suplir un menor VO₂ máx. con una excelente eficiencia aeróbica-anaeróbica. Respecto a los esfuerzos de 6 a 30 min, esto supone un equilibrio en la importancia relativa de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y el VO₂ máx. en la optimización del rendimiento. Lógicamente, en cuanto a los esfuerzos de 6 a 30 min, en las pruebas de una duración de 30 min a 1 h el deportista debe desarrollar la capacidad de **tolerancia a concentraciones de lactato** ligeramente inferiores ($\sim 5\text{-}7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) en un tiempo considerablemente superior. Asociada a estos condicionantes, la velocidad de desplazamiento se aleja progresivamente de la duración del esfuerzo de la VAM y se acerca a la VUan. En estas condiciones, la eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollada por el deportista en competición puede estar influida igualmente por la **VAM** y por la **VUan**. Debe considerarse que, para desarrollar la misma velocidad de desplazamiento, un deportista con VUan deficiente realiza el esfuerzo a un %VUan superior y, en consecuencia, teóricamente a mayor concentración de lactato, lo que conducirá inevitablemente a disminuir la intensidad durante la prueba. Desde esta perspectiva, acercar lo máximo posible la VUan a la VAM puede ser un factor determinante del rendimiento en pruebas de 30 min a 1 h.

TABLA 4.9. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 6 y 30 min

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
VO ₂ máx., VAM y Tlim a VAM		Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración media-baja	Máxima
	- Economía de esfuerzo	Máxima
	- Fuerza resistencia específica	Máxima

Original de los autores.

Se ha demostrado que en un esfuerzo superior a los 30 min el incremento de la temperatura corporal es de una magnitud considerable. Un aumento de la temperatura corporal conduce a variaciones de determinados procesos fisiológicos que finalmente incrementan el requerimiento energético para una misma velocidad de desplazamiento. Por tanto, el deportista que esté más capacitado para presentar menor afectación del equilibrio térmico corporal y en quien un mismo grado de desequilibrio térmico altere en menor medida los procesos fisiológicos que causan un incremento del gasto energético podrá desarrollar mayor eficiencia aeróbica-aeróbica durante toda la prueba, especialmente en la parte final, en la que los deportistas con menor capacidad de **termorregulación** y tolerancia al desequilibrio térmico corporal verán disminuida su capacidad de rendimiento. Como la **regulación hidroelectrolítica** está directamente asociada al desequilibrio térmico corporal, la capacidad para mantener en un esfuerzo y unas condiciones ambientales determinados el menor desequilibrio hidroelectrolítico y la capacidad de que un mismo grado de desequilibrio hidroelectrolítico altere en menor medida los procesos fisiológicos son también factores determinantes del rendimiento en esfuerzos de 30 min a 1 h. Como factor determinante de la regulación hidroelectrolítica y de la termorregulación, en este intervalo temporal de esfuerzos se requiere una adecuada temporalización y asimilación en la ingesta de líquidos.

Según este análisis, en la tabla 4.10 se detallan los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración esté comprendida entre 30 min y 1 h.

TABLA 4.10. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 30 min y 1 h

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
VO ₂ máx. y VAM VUan		Máxima Media-alta
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración media-baja - Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico - Economía del esfuerzo - Fuerza resistencia específica	Máxima Media-alta Máxima Máxima

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h

Los **esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h** se sitúan en la **intensidad más baja de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Muchos factores de rendimiento son coincidentes con los especificados en los esfuerzos de 30 min a 1 h. De hecho, la realidad demuestra que los deportistas pueden simultanear con éxito la participación en pruebas de ambos intervalos temporales (Legaz-Arrese, 2000). Sin embargo, incluso en los factores de rendimiento coincidentes es posible establecer consideraciones relevantes.

Hemos expuesto antes que una VUan deficiente puede limitar el rendimiento en pruebas de 30 min a 1 h. La intensidad de los esfuerzos de 1 a 2 h es muy próxima a la VUan. El desarrollo de la **VUan** inevitablemente conducirá a un incremento del requerimiento energético asociado a la elevación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica, aunque ésta si-ga manifestándose al mismo %VUan (figura 4.63). Considerando que difícilmente un deportista puede desarrollar en este intervalo temporal una velocidad muy superior a la VUan, la mejora de la VUan probable constituye la principal vía de optimización del rendimiento en esfuerzos de 1 a 2 h. Lógicamente, este análisis es todavía más evidente en los esfuerzos próximos a las 2 h. Esta reflexión presupone que el Tlím a VUan es ~ 2 h. En caso de diferenciación entre deportistas en el **Tlím a VUan**, este factor es relevante para el rendimiento en pruebas de 1 a 2 h. El ejemplo es claro y análogo al establecido para el Tlím a VAM. Un deportista que en relación con otro disponga de mayor VUan, si su Tlím a VUan es 1 h y 30 min, la velocidad que podrá desarrollar en una competición que dure 1 h y 30 min es la VUan.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Mientras que otro deportista con una VUan ligeramente inferior podrá desarrollar probablemente mayor velocidad en un esfuerzo de 1 h y 30 min en el caso de que su Tlím a VUan sea 2 h. La falta de estudios ha determinado que, según algunos datos de deportistas de elite, situemos didácticamente el Tlím a VUan en ~ 2 h. Sin embargo, probablemente futuros estudios de investigación permitirán, de forma análoga a lo establecido para el Tlím a la VAM, establecer un intervalo del Tlím a la VUan y, en consecuencia, determinar variaciones temporales en el límite inferior de la zona de eficiencia aeróbica. Esto conducirá a demostrar con mayor evidencia la importancia del Tlím a VUan en pruebas de 1 a 2 h.

El desarrollo del Uan implica un acercamiento de la VUan a la VAM y también un incremento de la eficiencia aeróbica-anaeróbica solicitando mayor $\%VO_2$ máx. Como se ha indicado para el resto de esfuerzos situados en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, un aumento de la **VAM** asociado a un mayor desarrollo del **VO_2 máx.** amplía el margen de optimización del rendimiento, lo que permite elevar nuevamente la VUan y la eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollada en la competición sobre la base del nuevo nivel de VO_2 máx. y VAM, equilibrando así el $\%VO_2$ máx. requerido a VUan y a nivel de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Por este motivo, el VO_2 máx. de los deportistas que compiten en pruebas de 1 a 2 h es equivalente al descrito en esfuerzos de menor duración (Legaz-Arrese *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha expuesto que, en esfuerzos de 1 a 2 h, deportistas con un menor VO_2 máx. pueden competir con éxito si disponen de una VUan muy próxima a la VAM y una excelente economía del esfuerzo (Conley y Krahenbuhl, 1980). Los cambios de los procesos fisiológicos mencionados han permitido incrementar la eficiencia aeróbica-anaeróbica de forma indirecta a través del desarrollo de una mayor VUan o de una mayor VAM. Lógicamente, aunque es difícil que un deportista se aleje excesivamente de la VUan en esfuerzos de 1 a 2 h, un incremento del requerimiento energético satisfecho desarrollando mayor **eficiencia aeróbica-anaeróbica** como consecuencia de una mayor capacitación para desplazarse a un mayor $\%VUan$ y/o a mayor $\%VAM$ produce también una mejora del rendimiento en este intervalo temporal de esfuerzos.

Un aspecto diferenciador de las pruebas de 1 a 2 h respecto al resto de esfuerzos de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica es la importancia que tiene la **capacidad aeróbica glucolítica** como determinante del rendimiento.

En este intervalo temporal de esfuerzos, el requerimiento energético lo satisfacen los hidratos de carbono y las grasas. Una mayor contribución relativa de los hidratos de carbono a la producción de energía como consecuencia de una mayor disponibilidad y capacidad de depleción de sus reservas permite al deportista incrementar el requerimiento energético de la prueba asociado a una mayor velocidad de desplazamiento. Igualmente, una mayor velocidad de resíntesis del ATP mediante la **degradación de las grasas** permite incrementar el requerimiento energético por unidad de tiempo determinando mayor velocidad de desplazamiento, o mantener una velocidad concreta reservando mayor cantidad de hidratos de carbono, lo que permitirá incrementar en un determinado momento la intensidad del esfuerzo.

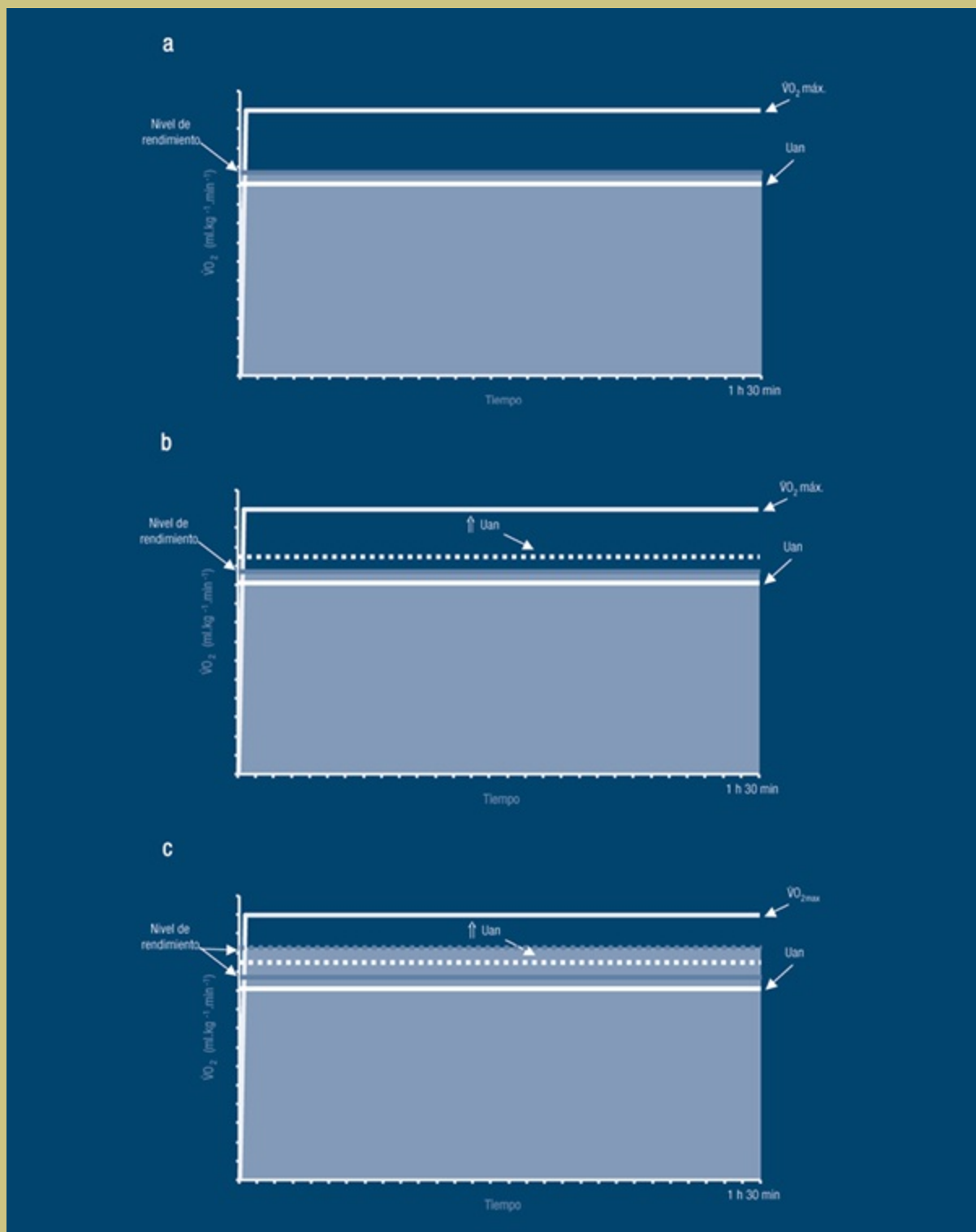


FIGURA 4.63. Requerimiento energético en un esfuerzo de 1 h y 30 min (a), la posibilidad de incrementarlo aumentando el U_{an} (b) y la manifestación de mayor nivel de rendimiento sobre la base de un mayor U_{an} (c). El área resaltada representa

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

la contribución del metabolismo aeróbico al requerimiento energético, excluyendo de esta representación la aportación del metabolismo anaeróbico al ser una intensidad superior al V_{Uan} . Para un esfuerzo de esta duración en el cual el requerimiento energético es ligeramente superior a la V_{Uan} (a), una mejora del U_{an} (b) es inherente a una mejora del nivel de rendimiento (c).

Original de los autores.

En esfuerzos de 1 a 2 h, el deportista debe desarrollar la capacidad para tolerar concentraciones de lactato de $4-6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. El límite inferior lo determina el nivel de concentración de lactato, que hemos situado didácticamente en el Tlím a V_{Uan} . Sin embargo, como se ha indicado repetidamente, debe considerarse que a V_{Uan} la concentración de lactato difiere entre los deportistas y es habitualmente inferior a $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Independientemente de esta discusión, por los mismos motivos especificados en esfuerzos de 30 min a 1 h, un deportista podrá incrementar la eficiencia aeróbica-anaeróbica desarrollada en competición si dispone de una mayor capacidad de **tolerancia y eliminación de lactato** y/o si dispone de una mayor capacidad de **termorregulación** y de **regulación hidroelectrolítica**. Debido a que la dificultad de mantener el equilibrio térmico corporal y la regulación hidroelectrolítica se incrementa a medida que aumenta la duración de esfuerzo, es probable que la importancia relativa del desarrollo de estas capacidades sea mayor en esfuerzos de 1 a 2 h que en otros de menor duración. Igualmente, un deportista con mejor **economía del esfuerzo** podrá mantener la velocidad de un esfuerzo 1 a 2 h solicitando menor eficiencia aeróbica-anaeróbica, junto con una menor concentración de lactato y, especialmente, con un menor gasto de hidratos de carbono. Ambos aspectos le permitirán incrementar la velocidad de desplazamiento en función de su regulación táctica de esfuerzo.

En la tabla 4.11 se muestran los factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h.

Esfuerzos máximos continuos de más de 2 h

Atendiendo al Tlím establecido a V_{Uan} , los **esfuerzos máximos continuos de más de 2 h** se sitúan en la **zona de eficiencia aeróbica**, desarrollándose una velocidad inferior a la V_{Uan} . Aunque los esfuerzos corresponden a diferentes zonas metabólicas, en cierto modo las vías de optimización del rendimiento en esfuerzos de más de 2 h se asemejan a las descritas para las

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

pruebas de 1 a 2 h: (i) incrementar el requerimiento energético asociado a una aproximación de la velocidad de competición a la VUan mediante el desarrollo de la **eficiencia aeróbica**; (ii) incrementar el requerimiento energético mediante el desarrollo de la **VUan** manteniendo el mismo %VUan solicitado a nivel de eficiencia aeróbica; (iii) incrementar la **VAM** asociada a un mayor **VO₂ máx.** permitiendo mayor requerimiento energético simplemente manifestando la VUan y la eficiencia aeróbica al mismo porcentaje respecto a los nuevos valores de VO₂ máx. y VAM; (iv) aumentar la **capacidad aeróbica glucolítica**; (v) incrementar la **participación relativa de las grasas**; (vi) incrementar la capacidad de **termorregulación**, (vii) aumentar la capacidad de **regulación hidroelectrolítica**, y (viii) incrementar la **economía del esfuerzo**.

Probablemente, respecto a los esfuerzos de 1 a 2 h, la importancia relativa del VO₂ máx. es menor al disponer de mayor margen para suplir una parcial deficiencia mediante el desarrollo de la eficiencia aeróbica y especialmente de la VUan. La mayor participación relativa de las grasas, asociada a un esfuerzo de mayor duración, permite pensar que la importancia de la velocidad de resíntesis del ATP mediante las grasas se incrementa proporcionalmente a la duración del esfuerzo.

TABLA 4.11. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 1 y 2 h

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
VO ₂ máx. y VAM VUan y Tlim a VUan		Media-alta Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica baja	- Tolerancia al lactato a concentración baja	Máxima
	- Capacidad aeróbica glucolítica	Máxima
	- Movilización de grasas	Máxima
	- Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico	Máxima
	- Economía del esfuerzo	Máxima
	- Fuerza resistencia específica	Máxima

Original de los autores.

En la misma línea, la elevada duración del esfuerzo incrementa la importancia relativa de la capacidad de termorregulación y de regulación hidroelectrolítica.

En la tabla 4.12 se muestran los factores de rendimiento específicos
 *****ebook converter DEMO Watermarks*****

asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos cuya duración es superior a las 2 h.

TABLA 4.12. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración superior a 2 h

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Importancia relativa</i>
VO ₂ máx. y VAM VUan y Tlím a VUan		Media-alta Máxima
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Eficiencia aeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración muy baja	Media-alta
	- Capacidad aeróbica glucolítica	Máxima
	- Movilización de grasas	Máxima
	- Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico	Máxima
	- Economía del esfuerzo	Máxima
	- Fuerza resistencia específica	Máxima

Original de los autores.

2.6. Niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de los esfuerzos continuos de intensidad constante

Como se ha indicado en el capítulo 2, el nivel de entrenamiento específico que permite el desarrollo de los factores que inciden directamente sobre el rendimiento debe trabajarse sobre la base de los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado. El entrenamiento facilitado y dificultado en los **esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante** implica trabajar, respectivamente, a una intensidad inferior y superior a la de competición.

El objetivo del **entrenamiento facilitado** es adquirir las bases que permitan realizar entrenamientos de mayor exigencia. Un análisis general establece que la realización de un esfuerzo a una **intensidad inferior a la de competición** implica, respecto al requerimiento energético de la prueba, una mayor participación relativa del metabolismo aeróbico asociado a la necesidad de tolerar una concentración de lactato inferior. La mayor incidencia del metabolismo aeróbico induce adaptaciones centrales y periféricas que permiten afrontar en mejores condiciones los entrenamientos más asociados al metabolismo anaeróbico. El incremento de la intensidad del

entrenamiento facilitado permite que el deportista se adapte a tolerar concentraciones de lactato progresivamente más próximas a las de competición. También se considera un entrenamiento facilitado si mediante la modificación de los componentes del entrenamiento, básicamente la realización de esfuerzos fraccionados con descanso incompleto, inducimos al deportista a tolerar concentraciones de lactato incluso superiores a las de competición, pero con una necesidad de requerimiento energético significativamente inferior.

El objetivo del **entrenamiento dificultado** es obtener respuestas adaptativas en condiciones más exigentes, lo que permitirá al deportista aumentar los límites fisiológicos y mecánicos desarrollados en la competición y, en consecuencia, su rendimiento. La realización de un esfuerzo a una **intensidad superior a la de competición** implica, respecto al requerimiento energético de la prueba, una mayor participación relativa del metabolismo anaeróbico. Esto conlleva para la mayoría de los esfuerzos máximos continuos un aumento de la dificultad de tolerancia al lactato, asociado a una mayor concentración y requerimiento energético por unidad de tiempo. El entrenamiento dificultado implica lógicamente la realización de un esfuerzo a una intensidad superior a la zona metabólica correspondiente a la de competición, desarrollando en función de la distancia de competición un mayor porcentaje de eficiencia aeróbica, eficiencia aeróbica-anaeróbica y eficiencia anaeróbica. Esto implica que el deportista se adapte a la realización de un esfuerzo a una intensidad progresivamente más próxima a los límites fisiológicos correspondientes para su prueba de competición: VUan, VAM, potencia anaeróbica láctica y aláctica. Para los esfuerzos que requieren una intensidad superior a la VAM, el entrenamiento dificultado implica también la necesidad de una mayor cinética del VO_2 que en competición.

Atendiendo a la especificidad adaptativa del entrenamiento, lógicamente los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado** no deben alejarse excesivamente de la zona metabólica específica correspondiente a la de competición. A efectos didácticos y prácticos, como se representa en la tabla 4.13, los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado deben incidir básicamente en la **zona metabólica de intensidad inferior y superior más próxima a la de competición**.

Como se ha indicado, para cada duración de esfuerzo se manifiesta una determinada **fuerza resistencia específica** caracterizada por unos patrones de magnitud y frecuencia de aplicación de la fuerza. Desde la perspectiva de la

fuerza, el nivel de entrenamiento específico corresponde al desarrollo de la zona metabólica específica, manifestándose una magnitud y frecuencia de fuerza similares a las de competición. El entrenamiento facilitado y dificultado implica la ejecución de un esfuerzo con menor o mayor exigencia en la aplicación de la fuerza. Como se especifica en el apartado 2.7 de este capítulo, la variación en la aplicación de la fuerza puede realizarse modificando la zona metabólica de trabajo y/o variando la magnitud de fuerza que debe superar el deportista y/o la frecuencia de la aplicación de fuerza.

TABLA 4.13. Niveles de entrenamiento facilitado y dificultado asociados a la zona metabólica específica de los distintos esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante

	<i>Nivel facilitado</i>	<i>Nivel específico</i>	<i>Nivel dificultado</i>
6-10 seg	Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (10-30 seg)	Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica	No es posible mediante un incremento de intensidad
10-30 seg	Intensidad alta de eficiencia anaeróbica (30-60 seg)	Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica	Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-10 seg)
30-60 seg	Intensidad media de eficiencia anaeróbica (1-2 min)	Intensidad alta de eficiencia anaeróbica	Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-30 seg)
1-2 min	Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (2-6 min)	Intensidad media de eficiencia anaeróbica	Intensidad alta de eficiencia anaeróbica (30-60 seg)
2-6 min	Intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica (6-30 min)	Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	Intensidad media de eficiencia anaeróbica (1-2 min)
6-30 min	Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica (30-60 min)	Intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica	Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (2-6 min)
30-60 min	Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (1-2 h)	Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica	Intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica (6-30 min)
1-2 h	Eficiencia aeróbica II	Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	Intensidad media de eficiencia aeróbica anaeróbica (30-60 min)
Más de 2 h	Intensidad más baja de eficiencia aeróbica	Eficiencia aeróbica	Intensidad más elevada de eficiencia aeróbica e intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (1-2 h)

Original de los autores.

El **nivel facilitado de la fuerza resistencia específica** está asociado básicamente a la ejecución de esfuerzos que implican menor velocidad que en competición, solicitando **menores magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza**, y constituye la base para la ejecución de métodos que demandan mayor exigencia de fuerza.

El **nivel dificultado de la fuerza resistencia específica** está asociado

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

básicamente a la ejecución de esfuerzos que implican mayor velocidad que en competición, solicitando mayores **magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza**. Otra vía de optimización del nivel dificultado de la fuerza resistencia específica es la ejecución de esfuerzos que implican superar una **magnitud de resistencia superior a la de competición**, solicitando mayor magnitud de aplicación de fuerza. Este nivel de entrenamiento permite incrementar los niveles de fuerza resistencia aplicando a velocidad de competición un menor porcentaje de fuerza, lo que aumenta el margen de mejora del rendimiento del deportista.

Lógicamente, los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de la fuerza resistencia específica no deben alejarse excesivamente de las características de manifestación de fuerza en competición. Como se representa en la tabla 4.14, los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado deben incidir, para todas las duraciones de un esfuerzo máximo continuo, en la ejecución de esfuerzos con menor o mayor exigencia respecto a la aplicación de fuerza resistencia específica de competición.

TABLA 4.14. Niveles de entrenamiento facilitado y dificultado asociados a la fuerza resistencia específica de los distintos esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante

	<i>Nivel facilitado</i>	<i>Nivel específico</i>	<i>Nivel dificultado</i>
Todas las duraciones	Menor exigencia en la aplicación de fuerza (magnitud y/o frecuencia)	Fuerza resistencia específica	Mayor exigencia en la aplicación de fuerza (magnitud y/o frecuencia)

Original de los autores.

2.7. Metodología del entrenamiento de los esfuerzos continuos de intensidad constante

El sugerente título de un reciente artículo de revisión publicado en la revista “Sports Medicine” es indicativo del **conocimiento científico actual** sobre la metodología de entrenamiento de los esfuerzos continuos “*Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge?*” (Midgley et al., 2007a).

Ciertamente, desde una perspectiva científica es difícil establecer una diferenciación de los métodos de entrenamiento más adecuados para el desarrollo de los distintos factores de rendimiento. Los resultados

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

encontrados en sujetos no entrenados o moderadamente entrenados no son aplicables a los deportistas de elite. Se han realizado muy pocos estudios con deportistas relativamente entrenados, y la mayoría presentan importantes **limitaciones metodológicas** que no permiten obtener conclusiones claras. Entre estas limitaciones se cuenta una insuficiente o ausente descripción del nivel de rendimiento, del estado de entrenamiento y del entrenamiento realizado por los deportistas.

Muy pocos estudios han incluido más de un grupo de entrenamiento experimental, por lo que es imposible comparar su efecto diferencial respecto a otros tipos de entrenamiento, y habitualmente el número de deportistas incluidos en el programa de entrenamiento y las semanas de entrenamiento son insuficientes.

Varios ejemplos pueden ilustrar estas limitaciones. En un reciente artículo se concluye que para mejorar el VO_2 máx. es mejor la adopción de métodos fraccionados que continuos (O'Brien *et al.*, 2008). Este estudio se realizó con sujetos moderadamente entrenados con un programa de entrenamiento de únicamente 3 semanas y utilizando únicamente métodos fraccionados con recuperación incompleta.

En otro estudio se establece que para mejorar el VO_2 máx. y el rendimiento en carreras de atletismo de 3.000 m es mejor realizar un entrenamiento fraccionado a la intensidad correspondiente a la VAM, con períodos de recuperación a una intensidad del 60% del Tlím a VAM, que realizar métodos fraccionados a intensidades superiores (Esfarjani y Laursen, 2007). En este estudio se valoraron programas de 10 semanas en sujetos moderadamente entrenados que fueron capaces de mejorar 50 seg el rendimiento en 3.000 m. En relación con estos dos ejemplos, hay que destacar que en corredores de elite se ha observado que después de 3 años de entrenamiento no todos mejoran su rendimiento y no se observan cambios significativos del VO_2 máx. (Legaz-Arrese *et al.*, 2005).

Debido a la ausencia de criterios científicos claros, el **método de entrenamiento en los esfuerzos continuos** debe basarse en el **conocimiento de los límites temporales** de los distintos procesos fisiológicos y mecánicos descritos previamente y en la consideración de que **la adaptación es específica de los sistemas a los que va orientado el estímulo de entrenamiento**. En este apartado se establecen los principales **métodos de entrenamiento** aplicables a la optimización de la resistencia en los esfuerzos máximos continuos (**continuos, fraccionados, simulados** y los **métodos que**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

modifican la manifestación de fuerza), destacando para cada método los componentes del entrenamiento, la zona metabólica de trabajo y los objetivos que pretende optimizar.

Métodos continuos

Conceptualización y clasificación

Los **métodos continuos** se caracterizan por la ejecución sin descanso de un volumen elevado de trabajo que conduce a una intensidad absoluta baja. En función de la intensidad, diferenciaremos entre el **método continuo ejecutado a intensidad elevada** y el **método continuo ejecutado a intensidad moderada** (figura 4.64), considerando la intensidad como el porcentaje respecto a la máxima intensidad que puede desarrollar un deportista para una determinada duración de esfuerzo.

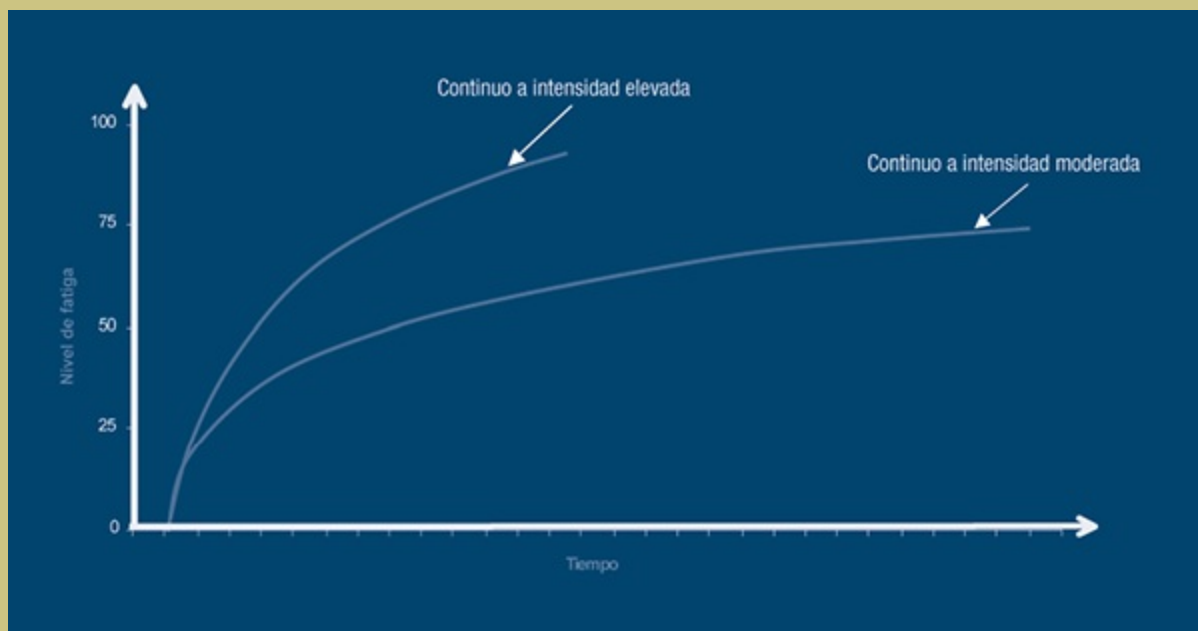


FIGURA 4.64. Representación de los métodos continuos. El nivel de fatiga se incrementa a medida que se incrementa la duración y es mayor al aumentar la intensidad del esfuerzo. Habitualmente la duración es mayor en los métodos ejecutados a intensidad moderada. Sin embargo, la duración del esfuerzo es dependiente de numerosos factores como el momento de la temporada y la duración de la competición.

Adaptado de Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección

Aunque didácticamente es necesario etiquetar los métodos de entrenamiento, lo más importante es que el lector, en función de la duración e intensidad del esfuerzo, sea capaz de establecer la zona metabólica de trabajo y en consecuencia los factores de rendimiento sobre los que probablemente va a incidir en mayor medida el entrenamiento realizado.

Método continuo ejecutado a intensidad moderada

Componentes del entrenamiento

El objetivo del **método continuo ejecutado a intensidad moderada** es realizar un esfuerzo a una intensidad significativamente inferior a la máxima que el deportista puede realizar para una duración determinada, habitualmente entre el **70% y el 90% de la máxima velocidad de desplazamiento**. Aunque el volumen habitual de trabajo está comprendido entre **30 min y 2 h**, la duración puede aumentar para deportistas que compiten en pruebas de muy larga duración. El **control de la intensidad** en un método continuo ejecutado a intensidad moderada puede realizarse con distintos métodos: mediante un porcentaje respecto a la velocidad de competición, mediante un porcentaje respecto a la velocidad, potencia y FC correspondiente a distintos procesos fisiológicos como la VUae, VUan y VO₂ máx., y mediante la percepción subjetiva de esfuerzo del deportista.

Zona metabólica

Un esfuerzo de 30 min a 2 h realizado a la máxima intensidad posible se desarrolla en la zona de intensidad media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Como la intensidad de un método continuo ejecutado a intensidad moderada es sensiblemente inferior a la máxima posible, el deportista se desplaza en una **zona metabólica de menor intensidad a la correspondiente para la duración del esfuerzo**, lo que corresponde a un intervalo de duración de esfuerzo de **30 min a 2 h**, la ejecución en la **zona más baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica** y en la **zona de eficiencia aeróbica**. Lógicamente, la medida en que el deportista se desplaza en estas

zonas metabólicas depende de la duración y de la intensidad del esfuerzo. Así, probablemente un esfuerzo de 30-40 min ejecutado al 85-90% de la intensidad máxima posible va a situarse a una intensidad ligeramente superior a la VUan, mientras que la velocidad de un esfuerzo de 2 h ejecutado al 70% de la intensidad máxima va a ser muy inferior a la VUan. Igualmente, en un método continuo de intensidad moderada de más de 2 h, a mayor duración y menor intensidad del esfuerzo, menor %VUan será desarrollado.

Objetivos de trabajo

Según lo expuesto, el método continuo ejecutado a intensidad moderada va a incidir fundamentalmente en el **desarrollo de la eficiencia aeróbica y la intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Debido a la combinación de un volumen elevado e intensidad baja, la mayor parte del requerimiento energético será satisfecho mediante el **metabolismo de las grasas**. El agotamiento de las reservas de hidratos de carbono requiere intensidad elevada y una duración superior a 1 h de esfuerzo. En consecuencia, únicamente si el esfuerzo es de una duración considerable (>2 h) y la intensidad no es muy baja, se incidirá en el desarrollo de la **capacidad aeróbica glucolítica**. La ejecución de un método continuo a intensidad moderada, acompañado de una dieta deficiente en hidratos de carbono, es una estrategia utilizada en determinados momentos para incidir en una mayor movilización de las grasas. Además, el elevado volumen de trabajo va a dificultar significativamente la **regulación de la temperatura corporal** y el **equilibrio hidroelectrolítico**, especialmente con una duración e intensidad del esfuerzo mayores y en condiciones de temperatura y humedad elevadas.

Independientemente del desarrollo de los mencionados factores de rendimiento, el método continuo ejecutado a intensidad moderada únicamente debe ser considerado para incidir en el **nivel de entrenamiento facilitado**, específicamente para los esfuerzos que se realizan en competición en la zona media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica y en la zona de eficiencia aeróbica. Este análisis está justificado debido a que, aunque dependiendo de la duración y la intensidad utilizadas, este método de trabajo pueda incidir en la zona metabólica específica de esfuerzos de larga y muy larga duración, la duración del esfuerzo será siempre muy inferior a la duración correspondiente a la competición; o contrariamente, cuando la duración sea similar a la de competición, la intensidad será siempre

significativamente inferior.

TABLA 4.15. Método continuo ejecutado a intensidad moderada: componentes del entrenamiento y objetivos de trabajo

Componentes del entrenamiento	Duración: 20 min a más de 3 h	Intensidad: 70-90% de la máxima intensidad posible para la duración del esfuerzo
Zona metabólica de trabajo	Eficiencia aeróbica e intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	
Factores de rendimiento que desarrolla	Movilización de las grasas Capacidad aeróbica glucolítica (>2 h) Termorregulación Equilibrio hidroelectrolítico Economía del esfuerzo Fuerza resistencia	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición en la zona de eficiencia aeróbica y a intensidades media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	

Original de los autores.

En la tabla 4.15 se especifican los principales componentes del entrenamiento y los objetivos de trabajo del método continuo ejecutado a intensidad moderada.

Método continuo ejecutado a intensidad elevada

Componentes del entrenamiento

El objetivo del **método continuo ejecutado a intensidad elevada** es ejecutar un esfuerzo a una intensidad próxima a la máxima que el deportista puede realizar para una duración determinada, habitualmente entre el **90% y el 95% de la máxima velocidad de desplazamiento**. El volumen habitual de trabajo está comprendido entre **20 min y 1 hora 30 min**. La duración del esfuerzo debe ampliarse para el desarrollo de la zona metabólica específica en esfuerzos de muy larga duración, considerando que para determinados tipos de movimiento como correr este tipo de esfuerzo requiere un amplio período de recuperación. Para duraciones de esfuerzo inferiores a 20 min, es aconsejable la utilización de métodos fraccionados que permiten desarrollar mayor volumen de trabajo.

De forma análoga a lo establecido para el método continuo ejecutado a intensidad moderada, el **control de la intensidad** de este método de trabajo puede realizarse mediante un porcentaje respecto a la velocidad de competición, mediante un porcentaje respecto a la velocidad, potencia y FC correspondientes a distintos procesos fisiológicos como la VUan, la VAM o el VO_2 máx. y mediante la percepción subjetiva de esfuerzo del deportista.

Zona metabólica

En este caso, el trabajo se realiza en una **zona metabólica ligeramente inferior a la establecida para cada duración de esfuerzo**. Así, por ejemplo, la realización de este método de trabajo durante **1 h y 30 min** implica una **velocidad próxima a la VUan**. La ejecución de esfuerzos de mayor duración va a incidir en la zona de eficiencia aeróbica. Al disminuir la duración del esfuerzo, se incrementa progresivamente la intensidad correspondiente a la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

La intensidad máxima desarrollada con un método continuo ejecutado a intensidad elevada corresponde a hacer un esfuerzo al 95% de la máxima velocidad de desplazamiento para una duración de **~ 20 min**, desarrollándose la **zona media de eficiencia aeróbica-anaeróbica**.

Objetivos de trabajo

En función de la intensidad, y fundamentalmente de la duración del esfuerzo, el método continuo ejecutado a intensidad elevada va a incidir en el **desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica** y la **intensidad media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica**, así como en el desarrollo del límite fisiológico de la **VUan**.

Estas zonas metabólicas de trabajo implican que el deportista debe ejecutar este método de entrenamiento con la **tolerancia a una concentración de lactato comprendida entre 2 y 6 mmol·l⁻¹**. Dadas la duración y la intensidad del esfuerzo, el requerimiento energético será satisfecho prioritariamente mediante la degradación de los hidratos de carbono. Únicamente cuando el esfuerzo sea de una duración superior a 1 h se incidirá en el desarrollo de la **capacidad aeróbica glucolítica**. En este caso, la elevada depleción de hidratos de carbono implica la necesidad de incrementar significativamente la velocidad de resíntesis del ATP mediante el

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

metabolismo de las grasas.

La participación de las grasas en el requerimiento energético será mayor cuanto mayor sea la duración del trabajo. Tanto por la duración como por la intensidad, durante la ejecución de este método de trabajo el deportista tendrá dificultades de **equilibrio térmico e hidroelectrolítico**.

En función de la manipulación de la intensidad, y especialmente de la duración del esfuerzo, el método continuo ejecutado a intensidad elevada incidirá en el desarrollo del **nivel de entrenamiento específico** de las zonas de eficiencia aeróbica y de intensidades media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica, así como en el **nivel de entrenamiento facilitado o dificultado** de estas zonas metabólicas. Así, siempre que la duración sea equiparable a la de competición se incidirá en el desarrollo de la correspondiente zona metabólica específica.

La ejecución de este método de trabajo con una duración superior e inferior a la de competición incidirá, respectivamente, en el desarrollo de sus correspondientes niveles de entrenamiento dificultado y facilitado.

En la tabla 4.16 se especifican los principales componentes del entrenamiento y los objetivos de trabajo del método continuo ejecutado a intensidad elevada.

TABLA 4.16. Método continuo ejecutado a intensidad elevada: componentes del entrenamiento y objetivos de trabajo

Componentes del entrenamiento	Duración: 20 min a más de 3 h	Intensidad: 90-95% de la máxima intensidad posible para la duración del esfuerzo
Zona metabólica de trabajo	Eficiencia aeróbica (>1 h 30 min) Intensidad media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (20 min a 1 h 30 min)	
Factores de rendimiento que desarrolla	VUan Tolerancia al lactato a concentración media-baja (2-6 mmol·l ⁻¹) Capacidad aeróbica glucolítica (>1 h) Movilización de las grasas (>1 h) Termorregulación Equilibrio hidroelectrolítico Economía del esfuerzo Fuerza resistencia	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	– Específico: para esfuerzos que se ejecutan en competición en la zona de eficiencia aeróbica y a intensidades media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (duración similar a la de competición) – Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición en la zona de eficiencia aeróbica y a intensidades media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (duración superior a la de competición) – Dificultado: para esfuerzos que se ejecutan en competición en la zona de eficiencia aeróbica y a intensidades media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (duración inferior a la de competición)	

Original de los autores.

Métodos fraccionados

Conceptualización y clasificación

Los métodos continuos no permiten el desarrollo de las zonas metabólicas de mayor intensidad (eficiencia anaeróbica e intensidad más elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica), de sus límites fisiológicos ($\text{VO}_{2\text{máx.}}$, VAM, potencia aláctica y láctica), ni la tolerancia a concentraciones de lactato medias, altas y muy altas. Para desarrollar estos objetivos se requiere una duración del esfuerzo corta. Para alcanzar un volumen de trabajo óptimo, estos esfuerzos deben repetirse sucesivamente con períodos de descanso entre las repeticiones.

La combinación de la duración y la intensidad del esfuerzo, del número de repeticiones y del descanso entre las repeticiones determina una amplia variedad de posibilidades de trabajo de forma fraccionada. Aunque es necesario establecer unas directrices metodológicas básicas que permitan

comprender el desarrollo de los distintos objetivos fisiológicos y mecánicos, lo más importante es que el lector, según su capacidad de reflexión, experiencia y observación del entrenamiento, sea capaz de modificar los componentes del entrenamiento atendiendo a los objetivos de trabajo planificados.

De forma equivalente a los métodos continuos, diferenciamos los **métodos fraccionados** en función de la intensidad relativa de esfuerzo: **método fraccionado ejecutado a intensidad moderada** y **método fraccionado ejecutado a intensidad elevada**.

Método fraccionado ejecutado a intensidad moderada

Componentes del entrenamiento

La denominación **método fraccionado ejecutado a intensidad moderada** se debe a que la intensidad desarrollada es significativamente inferior a la máxima que el deportista puede realizar para la duración de esfuerzo, habitualmente entre el **70% y el 90% de la máxima velocidad de desplazamiento**. La duración de cada repetición es variable en función de los objetivos planteados, **duración larga (3-15 min)**, **media (1-2 min)** y **corta (15-60 seg)**. En esfuerzos de tan corta duración es más complicado el **control de la intensidad** en relación con los distintos parámetros fisiológicos, siendo más preciso utilizar la percepción subjetiva de esfuerzo del deportista y especialmente conocer la velocidad máxima de desplazamiento que desarrolla el deportista para estos intervalos temporales. Un trabajo que combina una relativa corta duración y baja intensidad de esfuerzo no supone un estímulo suficiente de entrenamiento.

A tal efecto, la dificultad de los métodos fraccionados puestos en práctica a intensidad moderada está determinada porque se establece entre las repeticiones una **recuperación incompleta**. Se recomienda comenzar la siguiente repetición cuando la FC sea $\sim 120 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$, lo que implica una recuperación de entre 1 min y 30 seg y 3 min. No obstante, el tiempo de recuperación debe modificarse en función del objetivo de trabajo y el nivel del deportista. A este respecto hay que considerar que la cinética de la FC en la recuperación difiere significativamente entre deportistas de elite (Legaz-Arrese, 2000) y es sensible al estado de prestación, incluso en deportistas

bien entrenados (Lamberts *et al.*, 2009), por lo que el establecimiento de un tiempo fijo de recuperación puede desviar los objetivos del entrenamiento. Con estos condicionantes, el nivel de fatiga es relativamente bajo en las primeras repeticiones, incrementándose progresivamente al aumentar el número de repeticiones (figura 4.65).

La duración y la intensidad del esfuerzo permiten hacer un **elevado número de repeticiones** (820 repeticiones) dependiendo de la magnitud de ambas variables, así como del tiempo de recuperación entre las repeticiones y del nivel y estado de prestación del deportista. La ejecución de un elevado número de repeticiones está limitada cuando se realizan esfuerzos de breve duración a una intensidad relativamente elevada debido a un incremento del nivel de fatiga asociado a la mayor participación relativa del metabolismo anaeróbico. Para poder realizar un óptimo volumen de trabajo es habitual, en este caso, distribuir el número de repeticiones en **bloques de series**, realizando un descanso incompleto entre las repeticiones de cada serie y un descanso casi completo (~5-8 min) entre cada serie (figura 4.66).

Zona metabólica

Resulta complicado establecer con certeza las zonas metabólicas de trabajo del método fraccionado ejecutado a intensidad moderada. Lo que sí se sabe es que para una misma intensidad relativa la zona metabólica es de mayor intensidad al disminuir la duración de las repeticiones. También se sabe que, debido a la intensidad, el trabajo se realiza en una **zona metabólica de menor intensidad a la correspondiente para cada duración del esfuerzo**.

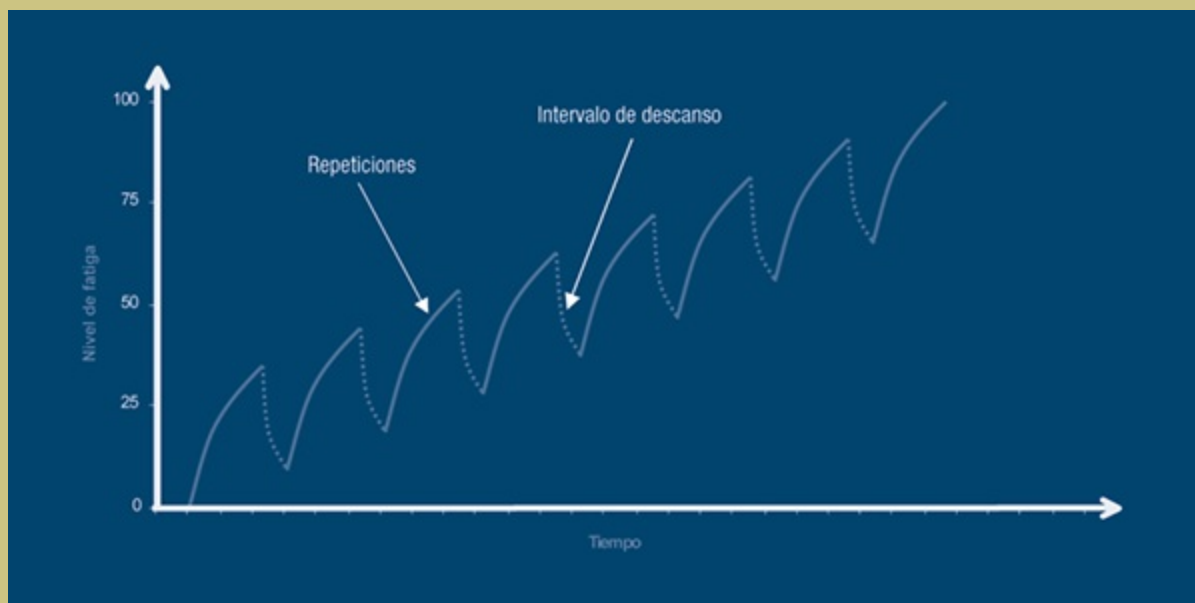


FIGURA 4.65. Representación del método fraccionado ejecutado a intensidad moderada. El nivel de fatiga es relativamente bajo en las primeras repeticiones debido a la baja intensidad de esfuerzo. Compruébese el incremento progresivo de fatiga al aumentar el número de repeticiones como consecuencia de la recuperación incompleta. Con este método de trabajo, el nivel de fatiga será mayor cuanto mayores sean la intensidad relativa y el número de repeticiones y cuanto menores sean la duración de las repeticiones y el descanso entre repeticiones.

Adaptado de Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento. Martínez Roca, 1991.

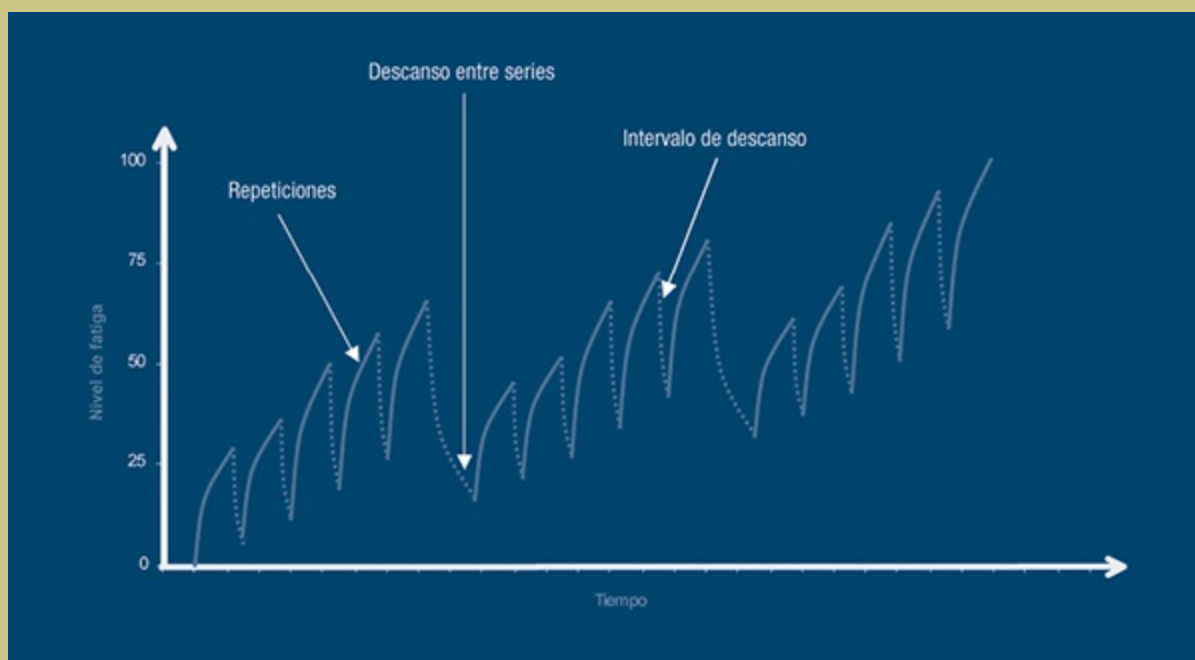


FIGURA 4.66. Representación del método fraccionado ejecutado a intensidad moderada distribuyendo las repeticiones en series. La distribución de las repeticiones en series, procurando mayor descanso entre series, permite reducir el nivel de fatiga y así incrementar el número de repeticiones ejecutadas en una sesión de entrenamiento.

Adaptado de Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento. Martínez Roca, 1991.

Recordemos que un esfuerzo de 15 min ejecutado a la máxima velocidad posible se desarrolla en la zona de mayor intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Los mejores corredores de atletismo que compiten en pruebas de 5.000 m (~13 min) alcanzan una velocidad de $\sim 23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La realización de un esfuerzo al 80-85% de esta velocidad implica desplazarse a $\sim 18,5\text{-}19,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, una intensidad similar a la desarrollada por los mejores deportistas a VUan. Considerando estos datos, la puesta en práctica de este método de entrenamiento en su límite de mayor duración (~15 min) determina probablemente una intensidad próxima a la VUan. Un esfuerzo de 3 min hecho a la máxima intensidad posible se desarrolla en la zona de intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

Los mejores corredores de atletismo que compiten en pruebas de 1.500 m (~3 min y 40 seg) alcanzan una velocidad de $\sim 25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La realización de un esfuerzo al 80-85% de esta velocidad implica desplazarse a $\sim 20\text{-}21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

¹, una intensidad ligeramente inferior a la desarrollada por los mejores deportistas que compiten en pruebas de 10.000 m (~28 min). Según estos datos, en el límite de menor duración del método fraccionado de intensidad moderada y duración larga (~3 min), el deportista se desplaza probablemente en la zona de intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Así, al menos como criterio didáctico, el método fraccionado de intensidad moderada y **duración larga** se desarrolla **entre la VUan y la intensidad media de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** (~4-6 mmol·l⁻¹).

La ejecución a la máxima velocidad posible del intervalo de tiempo establecido para el método fraccionado de intensidad moderada y duración media (1-3 min) implica desplazarse para una duración de 3 min a una intensidad ligeramente superior a la VAM, y para una duración de 1 min a una intensidad significativamente superior a la VAM. Ya hemos indicado que la zona de intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica es probablemente la que corresponde a un esfuerzo de 3 min al 80-85%. Las mejores corredoras de 800 m realizan un tiempo de ~2 min (~24 km·h⁻¹). El 80-85% de esta velocidad (19,220,4 km·h⁻¹) corresponde a la velocidad que son capaces las deportistas de desarrollar en pruebas de 3.000 m (~9 min) y 5.000 m (~15 min). Las mejores corredoras de 400 m (~55 seg) desarrollan una velocidad ligeramente superior a 26 km·h⁻¹, lo que implica una velocidad de ~21-22 km·h⁻¹ al 80-85%, intensidad ligeramente inferior a la desarrollada por las deportistas cuando compiten en pruebas de 1.500 m (~4 min). A partir de estos análisis podemos establecer que, dependiendo de la duración e intensidad de esfuerzo, los deportistas se desplazan cuando ejecutan un método fraccionado de intensidad moderada y **duración media** a **intensidad media y alta de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**, e incluso a nivel de la VAM (6-8 mmol·l⁻¹).

Resulta evidente que la zona metabólica correspondiente al método fraccionado de intensidad moderada y duración inferior a 1 min es superior a la VAM. Además, la intensidad habitualmente desarrollada en los métodos de corta duración es ligeramente superior, 85-90%.

La velocidad desarrollada por los mejores corredores de 400 m (~45 seg) es ~32 km·h⁻¹, lo que implica al desplazarse a un 85-90% una velocidad de ~27,2-28,8 km·h⁻¹, equivalente y ligeramente superior a la que desarrollan los mejores corredores de 800 m (~1 min y 45 seg). La concentración de lactato en corredores de 800 m es ~16-20 mmol·l⁻¹; sin embargo, como esta

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

intensidad se realiza en este ejemplo únicamente durante 45 seg, la concentración en la primera repetición será significativamente inferior, $\sim 8-10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Probablemente, similar concentración de lactato o ligeramente inferior se observe en la realización de repeticiones de una duración inferior a 45 seg. La velocidad de los mejores corredores de 200 m (~ 20 seg) es $\sim 36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, lo que supone al 85-90% un intervalo de velocidad de $\sim 30,6-32,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, que es ligeramente inferior o equiparable a la velocidad desarrollada por los mejores corredores de 400 m (~ 45 seg). Durante un esfuerzo máximo continuo de 45 seg es cuando se evidencian las máximas concentraciones de lactato ($\sim 20-24 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), pero durante la práctica de este método de trabajo esta intensidad se desarrolla en un tiempo considerablemente inferior (~ 20 seg). En deportistas que completaron 200 m a la intensidad de una carrera de 400 m, Hirvonen *et al.*, (1992) mostraron una concentración de $\sim 9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

A partir de estos datos, la concentración de lactato al finalizar la primera repetición de un método fraccionado de intensidad moderada y **duración corta** no difiere considerablemente en función de la duración del esfuerzo y será $\sim 8-10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, correspondiente a la **zona de intensidad baja de eficiencia anaeróbica**.

Objetivos de trabajo

El primer aspecto de interés es que, debido a la baja exigencia de intensidad y duración del esfuerzo, el método fraccionado ejecutado a intensidad moderada no es teóricamente el más apropiado para el desarrollo de los factores de rendimiento asociados a las distintas zonas metabólicas. Así, en los métodos de larga duración difícilmente se va a incidir en el desarrollo de la VUan y de la zona de media y baja intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica cuando un deportista únicamente realiza de forma continua un esfuerzo de 3 a 15 min a una intensidad que podría mantener, respectivamente, de ~ 30 min a ~ 2 h. En la puesta en práctica de los métodos de media duración tampoco se va a incidir en un desarrollo de la zona alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica ni en desarrollo de la VAM, ya que el deportista ejecuta un esfuerzo de 1 a 3 min a una intensidad que podría mantener durante un tiempo considerablemente superior, de $\sim 4-5$ min a ~ 30 min, respectivamente. Los métodos de corta duración tampoco incidirán en el

desarrollo de la zona más elevada de eficiencia anaeróbica y sus correspondientes factores determinantes (p. ej. cinética del VO_2 , capacidad anaeróbica aláctica, tolerancia a concentraciones elevadas de lactato, etc.) debido a que el deportista realiza un esfuerzo de una duración de 15 a 60 seg a intensidad equivalente a la que podría mantener respectivamente durante ~45 seg a ~4-5 min. Tampoco puede considerarse que este método de trabajo incida de forma específica en el desarrollo de la economía del esfuerzo y de la fuerza resistencia debido a que la velocidad de desplazamiento difiere significativamente de la de competición. Es cierto que un análisis más detallado podría conducir a que en algunas combinaciones del método fraccionado ejecutado a intensidad moderada se incida en mayor o menor medida en el desarrollo de algunos factores de rendimiento. Por ejemplo, la ejecución de un elevado número de repeticiones de una duración de 15 min podría comprometer las reservas de hidratos de carbono, y la realización de un elevado número de repeticiones a intensidad próxima al 90% podría comprometer las reservas de PCr en esfuerzos de muy corta duración. Sin embargo, otros métodos de trabajo inciden de forma más directa en el desarrollo de estos factores de rendimiento.

El principal estímulo de entrenamiento de un método fraccionado puesto en práctica a intensidad moderada es la recuperación incompleta entre las repeticiones. Como consecuencia de una recuperación incompleta, el deportista comienza cada repetición a una determinada concentración de lactato, que aumenta progresivamente en relación con el número de repeticiones y/o el menor tiempo de descanso. Los niveles de concentración de lactato establecidos antes corresponden a la ejecución de la primera repetición. Durante el desarrollo de las sucesivas repeticiones, la intensidad y, por tanto, la zona metabólica de trabajo se mantienen constantes, pero la concentración de lactato aumenta progresivamente. Por tanto, el deportista debe tolerar durante toda la sesión de entrenamiento concentraciones de lactato significativamente superiores a las correspondientes a la intensidad relativa de esfuerzo. La dificultad de este método de entrenamiento está asociada al mantenimiento en todas las repeticiones de la misma velocidad de desplazamiento con un incremento progresivo de acidez muscular. Además del número de repeticiones y el tiempo de recuperación, la concentración de lactato depende de la duración de las repeticiones. Así, durante la puesta en práctica de un método de larga duración, la concentración de lactato establecida para la primera repetición (~4-6 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) aumentará en las

últimas repeticiones a niveles de $\sim 8-10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Probablemente en esfuerzos de duración media, con una concentración de lactato en la primera repetición de $\sim 6-8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, el deportista deba tolerar en las últimas repeticiones concentraciones de $\sim 10-14 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Los valores de lactato en las últimas repeticiones de un método de corta duración pueden estar próximos a $1418 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Por ejemplo, Skof y Strojnik (2006) mostraron cómo la ejecución de únicamente 5 repeticiones de 300 m con 1 min de recuperación al 77% de la velocidad máxima (45 seg cada repetición) induce una concentración de lactato de $\sim 13 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

De acuerdo con este análisis, el método fraccionado practicado a intensidad moderada es adecuado para el **desarrollo de la tolerancia y eliminación de lactato a distintas concentraciones para un nivel de requerimiento energético relativamente bajo**. Así, aunque la concentración de lactato pueda ser equivalente a la desarrollada en competición, el deportista se ve facilitado en su esfuerzo al desarrollar una velocidad significativamente inferior. Este método de trabajo, en consecuencia, no incide en las condiciones en que se desarrolla la tolerancia al lactato en competición. Sin embargo, es el método que sirve de base para que el deportista durante su preparación desarrolle la tolerancia al lactato ante una concentración y un requerimiento energético progresivamente superiores. Así, la práctica secuencial de métodos fraccionados de intensidad moderada de duración larga, media y corta parece la más adecuada para incrementar progresivamente la dificultad de tolerancia ante una mayor concentración de lactato y un mayor requerimiento energético. Lógicamente, el método fraccionado practica a intensidad moderada únicamente es adecuado para el **desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado**: los de larga duración prioritariamente para esfuerzos que se desarrollan en competición en la zona de intensidad media y alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica, los de media duración para esfuerzos que se desarrollan en competición a intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica y a intensidad media y baja de la zona de eficiencia anaeróbica, y los de corta duración para esfuerzos que se desarrollan en competición a intensidad alta y muy alta de eficiencia anaeróbica.

En la tabla 4.17 se especifican los principales componentes del entrenamiento y los objetivos de trabajo del método fraccionado practicado a intensidad moderada.

TABLA 4.17. Método fraccionado puesto en práctica a intensidad moderada: componentes del entrenamiento y objetivos de trabajo

Componentes del entrenamiento	Duración: 15 seg a 15 min cada repetición	Intensidad: 70-90% de la máxima intensidad posible para la duración del esfuerzo
	Repeticiones: 8-20	Descanso: 1 min 30 seg a 3 min entre repeticiones; 5-8 min entre series
Fraccionado de intensidad moderada y duración larga (3 a 15 min cada repetición)		
Zona metabólica de trabajo*	Intensidad media y baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	
Factores de rendimiento que desarrolla	Tolerancia al lactato a concentración media (~8-10 mmol·l ⁻¹ en las últimas repeticiones) con requerimiento energético inferior al de competición	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad media y alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica	
Fraccionado de intensidad moderada y duración media (1 a 3 min cada repetición)		
Zona metabólica de trabajo*	Intensidad media y alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica	
Factores de rendimiento que desarrolla	Tolerancia al lactato a concentración media-alta (~10-14 mmol·l ⁻¹ en las últimas repeticiones) con requerimiento energético inferior al de competición	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica y a intensidad media y baja de eficiencia anaeróbica	
Fraccionado de intensidad moderada y duración corta (15 a 60 seg cada repetición)		
Zona metabólica de trabajo*	Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	
Factores de rendimiento que desarrolla	Tolerancia al lactato a concentración alta (~14-18 mmol·l ⁻¹ en las últimas repeticiones) con requerimiento energético inferior al de competición	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad alta y muy alta de eficiencia anaeróbica	

* Los métodos fraccionados practicados a intensidad moderada no son específicos para el desarrollo de las distintas zonas metabólicas.

Original de los autores.

Método fraccionado puesto en práctica a intensidad elevada

Componentes del entrenamiento

El **método fraccionado practicado a intensidad elevada** se puede clasificar igualmente en función de la duración de las repeticiones, **duración larga**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

(315 min), **media (1-3 min)** y **corta (mseg a 60 seg)**. A diferencia del método aplicado a intensidad moderada, la velocidad desarrollada es próxima a la máxima que el deportista puede alcanzar para la duración del esfuerzo, habitualmente entre el **90% y el 95% de la máxima velocidad de desplazamiento**, pudiendo ejecutarse al 100% para los esfuerzos de muy corta duración. Con el fin de mantener una intensidad elevada durante toda la sesión, son necesarias **pocas repeticiones** (4-8 repeticiones), y entre las repeticiones se establece una **recuperación completa** (5-10 min). La intensidad del esfuerzo produce un nivel de fatiga muy elevado desde la primera repetición (figura 4.67).

Zona metabólica

Como la intensidad del esfuerzo es muy próxima a la máxima posible, el trabajo en un método fraccionado practicado a intensidad elevada se realiza en una **zona metabólica ligeramente inferior a la especificada para cada duración de esfuerzo**. Así, durante la aplicación de un método de **larga duración** al 90-95% de intensidad (3-15 min), el deportista se desplazará a **VAM y en la zona de mayor intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Para una **duración media** de esfuerzo (1-3 min), la intensidad será superior a la VAM, en la **zona de menor intensidad de eficiencia anaeróbica**. En las repeticiones de **duración corta**, inferiores a 1 min, la intensidad corresponde a la **zona de intensidad media, alta y muy alta de eficiencia anaeróbica**, y en su caso, para esfuerzos inferiores a 15 seg ejecutados al 100%, la intensidad corresponde a la intensidad más elevada de eficiencia anaeróbica y a la manifestación de la potencia aláctica y láctica.

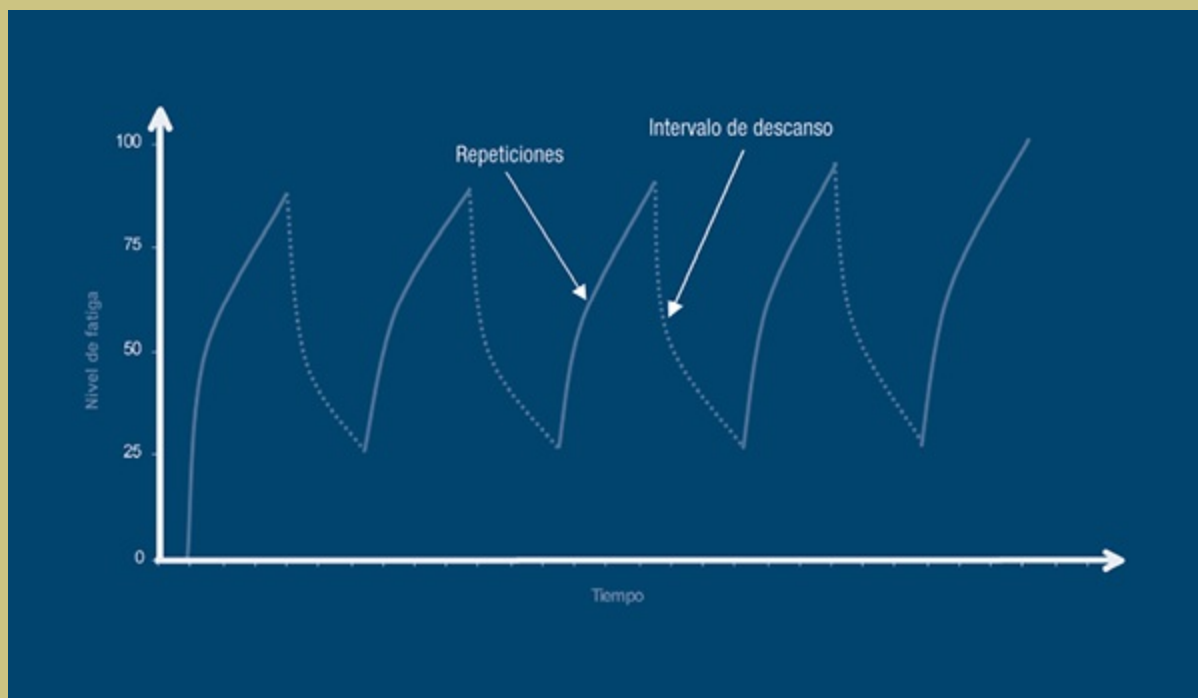


FIGURA 4.67. Representación del método fraccionado practicado a intensidad elevada. El nivel de fatiga es elevado desde la primera repetición debido a la elevada intensidad del esfuerzo. El tiempo de descanso debe ser muy superior al establecido para el método practicado a intensidad moderada para poder ejecutar varias repeticiones a la misma intensidad del esfuerzo.

Adaptado de Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento. Martínez Roca, 1991.

Objetivos de trabajo

Al contrario de lo especificado para el método fraccionado aplicado a intensidad moderada, los objetivos de trabajo del método aplicado a intensidad elevada coinciden con la **zona metabólica y los factores de rendimiento indicados para cada duración del esfuerzo**. Así, la ejecución a intensidad elevada de las repeticiones de mayor duración (8-15 min) desarrolla específicamente la zona de intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica, mientras que la ejecución de repeticiones de una duración de 3-8 min incide en el desarrollo del VO_2 máx., la VAM y el Tlím a VAM.

Además, en este intervalo temporal se desarrolla el esfuerzo con un elevado requerimiento energético con concentraciones de lactato de ~6-8

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

mmol·l⁻¹. En un esfuerzo de duración media (1-3 min), el requerimiento energético es más elevado, solicitando un rápido funcionamiento del metabolismo aeróbico y el VO₂ máx. del deportista. Probablemente el desarrollo de la cinética del VO₂ y del VO₂ máx. sea más evidente, respectivamente, en el intervalo de menor y mayor duración de este intervalo temporal. Además, en un método fraccionado de intensidad elevada y duración media es relevante la aportación del metabolismo anaeróbico, especialmente al reducir la duración de las repeticiones.

Desde esta perspectiva, se desarrolla la eficiencia anaeróbica de baja intensidad, así como la tolerancia a concentración de lactato que puede variar de ~8 mmol·l⁻¹ en esfuerzos de 3 min a ~14-16 mmol·l⁻¹ en esfuerzos de 1 min.

En el método fraccionado de elevada intensidad inferior a 1 min no es posible desarrollar el VO₂ máx. del deportista, pero se requiere junto con una menor duración de esfuerzo la máxima velocidad de resíntesis del ATP por la vía aeróbica. En este intervalo temporal el requerimiento energético es aportado fundamentalmente por el metabolismo anaeróbico láctico, desarrollándose además la intensidad elevada de eficiencia anaeróbica, asociada a la tolerancia a concentraciones de lactato elevadas. En las repeticiones de 30 a 60 seg el intervalo de concentración de lactato puede situarse en ~14-20 mmol·l⁻¹, mientras que en repeticiones de 10 a 30 seg el intervalo probablemente es ligeramente inferior (~8-14 mmol·l⁻¹). En este intervalo temporal de repeticiones también se solicitan las reservas de PCr, y, si la duración de las repeticiones es inferior a 15 seg, se solicita la potencia aláctica y láctica del deportista. Además, en el método fraccionado de intensidad elevada se desarrolla lógicamente la economía del esfuerzo correspondiente a cada duración de esfuerzo.

Es interesante la diferenciación de las condiciones de tolerancia al lactato entre el método fraccionado practicado a intensidad moderada y a intensidad elevada. En el método fraccionado practicado a intensidad moderada se requiere tolerar una determinada concentración de lactato desde el inicio de cada repetición. En el método fraccionado practicado a intensidad elevada, al igual que sucede en las competiciones, se inicia cada repetición con lactato basal, incrementándose la concentración de lactato en el curso del esfuerzo.

De forma análoga a la competición, en el método de intensidad elevada se requiere la tolerancia al lactato menos tiempo que en un método de intensidad

moderada, pero ante un nivel de requerimiento energético relativamente más elevado. En consecuencia, aunque es posible trabajar con concentraciones de lactato equiparables con ambos métodos, la dificultad de tolerancia al lactato es significativamente mayor en un método ejecutado a intensidad elevada. Desde una perspectiva de intensificación del entrenamiento asociada a las características de tolerancia al lactato, el método fraccionado aplicado a intensidad moderada sirve de base para la mayor exigencia de tolerancia inducida por el método fraccionado aplicado a intensidad elevada.

En este nivel de secuenciación, en las repeticiones de una duración superior a 30-45 seg, la concentración de lactato disminuye al incrementar la duración del esfuerzo.

El método fraccionado practicado a intensidad elevada desarrolla, en consecuencia, el **nivel de entrenamiento específico** de la zona de eficiencia anaeróbica (métodos de duración corta y media) y de la intensidad elevada de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica (métodos de larga duración). Este método de trabajo también sirve para desarrollar el **nivel de entrenamiento facilitado** de la zona de eficiencia anaeróbica y de la intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica siempre que la duración de cada repetición sea superior a la de la competición. Además, se incide en el desarrollo del **nivel de entrenamiento dificultado** de la zona de eficiencia anaeróbica y de la intensidad más elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica si la duración de las repeticiones es inferior a la duración de la competición.

En la tabla 4.18 se especifican los principales componentes del entrenamiento y los objetivos de trabajo del método fraccionado practicado a intensidad elevada.

TABLA 4.18. Método fraccionado puesto en práctica a intensidad elevada: componentes del entrenamiento y objetivos de trabajo

Componentes del entrenamiento	Duración: mseg a 15 min cada repetición	Intensidad: 90-95% de la máxima intensidad posible para la duración de esfuerzo, 90-100% para repeticiones inferiores a 15 seg
	Repeticiones: 5-8	Descanso: 5-10 min
<i>Fraccionado de intensidad elevada y duración larga (3 a 15 min cada repetición)</i>		
Zona metabólica de trabajo	Intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica y VAM	
Factores de rendimiento que desarrolla	$\dot{V}O_2$ máx., VAM y $\dot{V}O_2$ a VAM (3-8 min cada repetición); tolerancia al lactato a concentración media-baja ($\sim 6-8$ mmol l ⁻¹); economía de esfuerzo; fuerza resistencia	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	- Específico: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica - Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad media y baja de la zona de eficiencia anaeróbica y en la intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica (repeticiones de mayor duración que la competición) - Dificultado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica (repeticiones de menor duración que la competición)	
<i>Fraccionado de intensidad elevada y duración media (1 a 3 min cada repetición)</i>		
Zona metabólica de trabajo	Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	
Factores de rendimiento que desarrolla	Cinética del $\dot{V}O_2$; $\dot{V}O_2$ máx. y VAM; tolerancia al lactato a concentración media-alta ($\sim 8-16$ mmol l ⁻¹); economía de esfuerzo; fuerza resistencia	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	- Específico: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad baja de eficiencia anaeróbica - Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad media y alta de eficiencia anaeróbica y para los ejecutados a intensidad baja de eficiencia anaeróbica (repeticiones de mayor duración que la competición) - Dificultado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica y a intensidad baja de eficiencia anaeróbica (repeticiones de menor duración que la competición)	
<i>Fraccionado de intensidad elevada y duración corta (mseg a 60 seg cada repetición)</i>		
Zona metabólica de trabajo	Intensidad media, alta y muy alta de eficiencia anaeróbica y potencias aláctica y láctica (esfuerzos inferiores a 15 seg)	
Factores de rendimiento que desarrolla	Cinética del $\dot{V}O_2$ Tolerancia al lactato a concentración alta-muy alta ($\sim 14-20$ mmol l ⁻¹) (30-60 seg cada repetición) y media-alta ($\sim 8-14$ mmol l ⁻¹) (10 a 30 seg) Capacidad anaeróbica aláctica Potencia anaeróbica aláctica y láctica (esfuerzos inferiores a 15 seg) Economía de esfuerzo Fuerza resistencia	
Niveles de entrenamiento que desarrolla	- Específico: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad media, alta y muy alta de eficiencia anaeróbica - Facilitado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad baja de eficiencia anaeróbica y los ejecutados a intensidad media, alta y muy alta (repeticiones de mayor duración que la competición) - Dificultado: para esfuerzos que se ejecutan en competición a intensidad media, alta y muy alta de eficiencia anaeróbica (repeticiones de menor duración que la competición)	

Original de los autores.

Métodos que simulan la competición

Conceptualización y clasificación

La denominación de los **métodos que simulan la competición** viene determinada porque el objetivo fundamental es la aproximación progresiva a los objetivos fisiológicos, mecánicos, motores e informacionales que se desarrollan en la competición. Aunque en este apartado se establecen diferentes directrices metodológicas, nuevamente la combinación óptima de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

los componentes de entrenamiento es infinita, y debe ser el lector quien, sobre la base de su reflexión, sea capaz de realizar numerosas variantes siendo consciente de su implicación sobre los objetivos de trabajo. Distinguiremos los métodos que simulan la competición en función de si el esfuerzo se realiza de forma fraccionada o continua: **método fraccionado que simula la competición** y **método continuo que simula la competición**.

Método fraccionado que simula la competición

Componentes del entrenamiento

Aunque existen numerosas posibilidades de combinar los componentes del entrenamiento para la aplicación del **método fraccionado que simula la competición**, es posible establecer unas directrices básicas. La intensidad debe asemejarse a la de competición, desarrollando habitualmente una **velocidad equiparable o ligeramente superior a la de competición**. Se establece una **duración de las repeticiones inferior a la de competición**, existiendo básicamente tres variantes: repeticiones de distancia constante que simulan una parte de la competición, repeticiones de distancia constante que suman la distancia de competición y repeticiones de distancia variable que suman la distancia de competición. En las **repeticiones de distancia constante que simulan parte de la competición** se establece un **descanso incompleto o completo** en función de los objetivos de trabajo. En la realización de las **repeticiones que suman la distancia de competición**, independientemente de que la distancia sea constante o variable, se hacen **descansos muy cortos**. Para establecer un volumen óptimo de trabajo, en los métodos fraccionados que simulan la competición las repeticiones se distribuyen en **series**, realizando un **descanso completo entre cada serie**. A causa de la elevada intensidad de este método de entrenamiento, se ejecutan **pocas series**.

Zona metabólica

La zona metabólica de trabajo es **equivalente o ligeramente superior a la establecida para la duración de la correspondiente competición**.

Objetivos de trabajo

Debido a que la duración de cada repetición es significativamente inferior a la de competición, no se desarrollan globalmente todos los objetivos fisiológicos y mecánicos determinantes del rendimiento. De hecho, el objetivo de la combinación de los distintos componentes de entrenamiento en el método fraccionado que simula la competición es **incidir específicamente en algunos de los factores de rendimiento de la competición**.

Así, cuando se ejecutan repeticiones de distancia constante que simulan una parte de la competición con una recuperación completa, el principal objetivo es desarrollar en cada repetición una velocidad ligeramente superior a la de competición, incidiendo en la mejora de los factores de rendimiento asociados a la parte inicial de la prueba. Por ejemplo, cuando para un deportista que compite en una distancia de 800 m se realizan repeticiones de 400 m a mayor velocidad que la de competición y con descanso completo, se incide en un mayor requerimiento energético asociado a la mayor exigencia de la cinética del VO_2 y a desarrollar esa parte del esfuerzo con mayor concentración de lactato que en competición. En cambio, cuando para el mismo deportista se ejecutan repeticiones de 400 m a mayor velocidad que la de competición pero con descanso incompleto, además de incidir en las primeras repeticiones en los mencionados factores de rendimiento, en las últimas repeticiones se incide en la parte final de la prueba, debiendo realizar las repeticiones con mayor fatiga que se asocia a una mayor concentración de lactato que la correspondiente a los últimos 400 m de la competición.

El objetivo de la repetición de una distancia constante que suma la distancia de competición con pequeños intervalos de recuperación es acostumbrar al deportista a desarrollar mayor velocidad que en competición. Lógicamente, para desarrollar esta mayor velocidad, es necesario parcializar la distancia de competición estableciendo pequeños períodos de descanso. La intensificación de este entrenamiento está determinada por la reducción de los intervalos de descanso y del número de repeticiones en que se parcializa la competición. Al respecto, la repetición de una distancia variable que suma la distancia de competición forma parte de la intensificación del entrenamiento, al incrementar la duración del esfuerzo sin descanso. Dentro de este método de trabajo, el aumento de la duración de la primera repetición y la reducción de los intervalos de descanso suponen una nueva intensificación del estímulo de entrenamiento. Nuevamente, en este método de trabajo se incide en una

mayor exigencia de los factores de rendimiento relevantes para la primera parte del esfuerzo y en la ejecución de la parte final del esfuerzo con una mayor fatiga como consecuencia de la mayor velocidad de desplazamiento realizada en la primera parte.

En definitiva, las variantes establecidas para el método fraccionado que simula la competición buscan de forma progresiva la intensificación del estímulo de entrenamiento. Así, las repeticiones de distancia constante con recuperación completa que simulan la parte inicial de la competición y las repeticiones de distancia constante que suman la distancia de competición son los métodos de trabajo que sirven de base para intensificar el entrenamiento mediante la repetición de distancia constante con recuperación incompleta que simula la parte inicial y final de la competición, y las repeticiones de distancia variable que suman la distancia de competición.

Método continuo que simula la competición

Componentes del entrenamiento

El **método continuo que simula la competición** se caracteriza por realizar **una única repetición** a una **velocidad ligeramente inferior, equivalente o ligeramente superior a la de competición**, en función, fundamentalmente, de que la distancia sea ligeramente superior, equivalente o inferior a la de competición (figura 4.68). Se recomienda una **variación de ~5-15% de la distancia de competición**, que puede ser ~30% en esfuerzos de muy larga duración. En competiciones de muy corta duración se puede optimizar el volumen de entrenamiento realizando más de una repetición con descanso completo. Igualmente, es posible establecer variaciones de intensidad en la ejecución de cada repetición en función de los objetivos deseados.

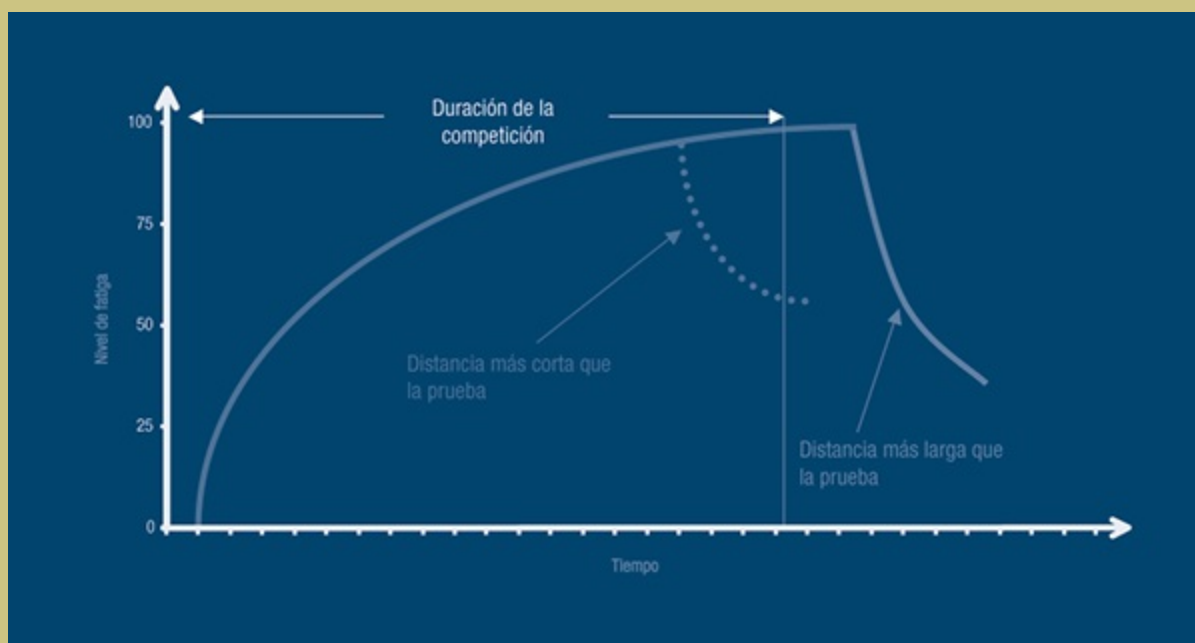


FIGURA 4.68. Representación del método continuo que simula la competición. Al igual que en competición, el nivel de fatiga se incrementa a medida que lo hace la duración y es máximo cuando termina el esfuerzo.

Adaptado de Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento. Martínez Roca, 1991.

Zona metabólica

En función de las pequeñas variaciones de la intensidad, la zona metabólica de trabajo es **equivalente o ligeramente inferior o superior a la establecida para la duración de la correspondiente competición.**

Objetivos de trabajo

Mientras que con la ejecución del método fraccionado que simula la competición se incide en el desarrollo específico de algunos de los factores de rendimiento, con la ejecución del método continuo que simula la competición se pretende incidir en la **globalidad de los factores de rendimiento de la competición.** Esta metodología de trabajo es, por tanto, la más específica para optimizar el rendimiento del deportista. Aun siendo el objetivo principal la repercusión sobre todos los factores que inciden en la competición, las

modificaciones de la duración y la intensidad del esfuerzo permiten incidir de forma concreta en el **desarrollo más específico de determinados factores**.

Durante la ejecución de una distancia ligeramente superior a la de competición, el requerimiento energético por unidad de tiempo es inferior al de competición, como consecuencia de la inevitablemente menor velocidad de desplazamiento. Según estas condiciones, y en función de la distancia de competición, se requiere del deportista, por ejemplo, menor exigencia en la cinética del VO_2 y específicamente menor requerimiento del metabolismo anaeróbico, induciendo la necesidad de tolerar una concentración de lactato ligeramente inferior a la de competición durante más tiempo. Esta forma de trabajo permite una aproximación a las demandas específicas de competición, sirviendo de base para someter al deportista a estímulos de entrenamiento más exigentes dentro del método continuo que simula la competición. Así, el deportista está capacitado para desarrollar una velocidad equivalente a la de competición sobre distancias progresivamente más próximas a la de competición. Igualmente, el deportista puede desarrollar distancias inferiores a la de competición a una intensidad ligeramente superior, demandando mayor requerimiento energético, que, en función de la distancia, se asocia a una mayor exigencia de la cinética del VO_2 , a una mayor intensidad en las distintas zonas de trabajo (anaeróbica, aeróbica-anaeróbica, y aeróbica) y a la necesidad de tolerar para la distancia recorrida mayor concentración de lactato que en competición. En la progresión secuencial de este método de trabajo se requiere la aproximación progresiva a la distancia de competición, intentando mantener en la medida de lo posible una velocidad de desplazamiento superior. Otra forma de incidir de forma específica en determinados factores es variando la intensidad durante el esfuerzo. Así, es posible demandar mayor requerimiento energético asociado a una mayor fatiga en la parte inicial del esfuerzo desarrollando mayor velocidad que en competición, y mantener en estas condiciones dificultadas la mayor velocidad de desplazamiento posible en el resto del esfuerzo. También es posible realizar variaciones de intensidad, especialmente en la última parte del esfuerzo, en condiciones de mayor o menor fatiga en función de los condicionantes de regulación de esfuerzo previstos en competición.

Métodos que modifican la manifestación de fuerza

Conceptualización y clasificación

Los esfuerzos máximos continuos se caracterizan por desarrollar una velocidad de desplazamiento mediante la repetición secuencial de un ciclo motor. Una misma velocidad de desplazamiento puede ser consecuencia de una diferente combinación del intervalo temporal del ciclo motor y de la fuerza aplicada en cada ciclo. El objeto de los **métodos que modifican la manifestación de fuerza** es incidir en la mejora de la velocidad de desplazamiento desarrollando de forma combinada la magnitud y frecuencia de su aplicación. Diferenciamos el **método basado en la modificación de la velocidad de desplazamiento**, el **método resistido**, el **método asistido** y el **método con sobrecargas**.

Método que modifica la velocidad de desplazamiento

Componentes del entrenamiento

El **método que modifica la velocidad de desplazamiento** tiene como objetivo incrementar o disminuir la velocidad de desplazamiento inherente a la competición. La modificación de la velocidad de desplazamiento puede realizarse manteniendo la frecuencia del ciclo motor y variando la fuerza aplicada, variando la frecuencia del ciclo motor para la misma aplicación de fuerza o modificando ambas variables. El objetivo de este método de trabajo es la disminución o el incremento simultáneo de la frecuencia y magnitud de fuerza que se evidencia de forma natural al disminuir o incrementar la velocidad de desplazamiento. La variación en la manifestación de fuerza asociada a la modificación de la velocidad de desplazamiento es inherente a la ejecución de todos los métodos **continuos**, **fraccionados** o **simulados** descritos previamente.

Zona metabólica

La zona metabólica de trabajo del método que modifica la velocidad de desplazamiento es **equivalente, superior o inferior a la de competición** en función de que se desarrolle una velocidad equivalente, superior o inferior a ésta. Lógicamente, de acuerdo con un desarrollo específico de la fuerza, el margen de variación de la zona metabólica respecto a la de competición no

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

debe ser excesivo. Así, para un deportista que compite en la zona de intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica, la ejecución de esfuerzos en la zona de baja y alta intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica parece lo más adecuado para facilitar y dificultar, respectivamente, la fuerza resistencia específica que manifiesta en competición. Con este objetivo, la ejecución de esfuerzos en la zona de alta intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica y en la zona de menos intensidad de eficiencia anaeróbica sería lo adecuado para un deportista que compite a VAM.

Objetivos de trabajo

Al modificar la velocidad respecto a la de competición, la magnitud de resistencia o carga que debe superar el deportista es la misma que en competición, por ejemplo, en la carrera, el propio peso corporal; sin embargo, se modifica tanto la magnitud como la frecuencia de aplicación de fuerza. Realmente, la variación de la fuerza modificando la velocidad de desplazamiento no constituye un método de entrenamiento añadido a los especificados anteriormente. Precisamente, la variación de la velocidad de desplazamiento es el criterio común para incidir en el desarrollo de los distintos factores de rendimiento fisiológicos y mecánicos asociados a una determinada duración del esfuerzo. Sin embargo, es necesario resaltar que, simultáneamente al **desarrollo de los distintos factores de rendimiento fisiológicos y mecánicos**, esta metodología es de las más apropiadas también para **desarrollar la fuerza resistencia específica** requerida en los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante. De forma análoga a la selección secuencial de métodos de trabajo que intensifican progresivamente el estímulo de entrenamiento de los distintos procesos fisiológicos y mecánicos, para el desarrollo de la fuerza resistencia específica, la ejecución de los métodos que implican menor velocidad que en competición solicita menor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza, pero constituye la base para la ejecución de métodos que demandan mayor exigencia de fuerza asociada a la ejecución de una velocidad superior a la de competición. El objetivo final es incrementar el nivel de fuerza del deportista a fin de que a velocidad de competición solicite un menor porcentaje de ésta, y aumentar la frecuencia de aplicación de fuerza. Un menor porcentaje en la aplicación de fuerza, para una misma velocidad de desplazamiento, está asociado a la ejecución de un esfuerzo en una zona metabólica de menor intensidad,

probablemente como consecuencia de una mayor participación relativa de las fibras lentas y de una menor contribución del metabolismo anaeróbico. Esto va a permitir que el deportista incremente la velocidad de desplazamiento en competición.

Método resistido

Componentes del entrenamiento

Modificando la velocidad de desplazamiento se induce una mayor o menor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza sin variar la resistencia o carga a vencer. El objetivo del **método resistido** es incrementar la magnitud en la aplicación de fuerza como consecuencia de un **aumento de la carga**, sin modificar significativamente ni la velocidad de desplazamiento ni la frecuencia de ciclo. Como se ha indicado previamente, la mejora de la fuerza resistencia del deportista modificando la velocidad de desplazamiento es inherente a la aplicación de los distintos métodos de entrenamiento de la resistencia. Por este motivo, aunque es posible incrementar la carga en todos los métodos de entrenamiento de resistencia, el objetivo principal del método resistido es modificar las condiciones en que se aplica la fuerza para una duración e intensidad de esfuerzo equiparables a las de competición. Por tanto, los métodos simulados son los más adecuados para introducir modificaciones del nivel de carga. Desde esta perspectiva, son aplicables básicamente dos variantes del método resistido: (i) recorrer una **distancia similar a la de competición a una velocidad inevitablemente algo inferior**, y (ii) alcanzar una **velocidad similar a la de competición sobre una distancia inevitablemente algo inferior**. Con este objetivo, y de acuerdo con otros autores, el incremento de la resistencia que debe superar el deportista no debe ser excesivo.

El incremento de la magnitud de carga o resistencia que debe superar el deportista puede realizarse con **diferentes medios**: (i) incrementando el peso sobre el que se manifiesta la fuerza (p. ej., lastres, arrastres, materiales más pesados, etc.); (ii) incrementando el nivel de resistencia mecánica (p. ej., mayor desarrollo del habitual en ciclismo, mayor resistencia de la habitual en ergómetros específicos de distintas modalidades deportivas, etc.); (iii) incrementando la resistencia aerodinámica e hidrodinámica (p. ej.,

modificando la posición corporal, los materiales, la vestimenta; aprovechando la dirección del viento y de la corriente del agua, etc.); (iv) incrementando la pendiente; (v) incrementando el grado de deformación de la superficie sobre la que se aplica la fuerza, y (vi) introduciendo elementos que aumenten de forma progresiva la resistencia de avance al movimiento (p. ej., cuerdas elásticas).

Zona metabólica

Debido a que en el método resistido se incide en una aproximación a los parámetros mecánicos de competición, no debe existir una gran variación entre la zona metabólica de trabajo y la zona metabólica de competición. Lógicamente, en el método resistido en que se desarrolla una **velocidad equiparable a la de competición**, se incide en una **zona metabólica de mayor intensidad** como consecuencia de que la mayor magnitud en la aplicación de fuerza se debe realizar manteniendo la frecuencia del ciclo. Una **duración del esfuerzo equivalente a la de competición**, sin disminuir excesivamente la velocidad de desplazamiento, induce probablemente una **zona metabólica equivalente a la de competición**. En este caso, la disminución de la velocidad de desplazamiento es consecuencia fundamentalmente de una menor frecuencia en la aplicación de la fuerza.

Objetivos de trabajo

El principal objetivo de trabajo del método resistido es el **desarrollo de la fuerza resistencia específica** que requiere el deportista en competición. En este caso, la mejora de la fuerza resistencia se asocia a una **mejora del nivel de fuerza** como consecuencia de la aplicación continuada de una magnitud de fuerza superior a la de competición. Como se ha indicado previamente, esto permite aplicar a velocidad de competición un menor porcentaje de fuerza, lo que aumenta el margen de mejora del rendimiento del deportista. Aunque en la aplicación de un método resistido con una duración equiparable a la de competición la velocidad de desplazamiento sea inferior, debido a la aplicación de mayor fuerza en cada ciclo, los factores fisiológicos implicados y la zona metabólica son equivalentes a los establecidos para una determinada duración de esfuerzo. En consecuencia, en la puesta en práctica de un método resistido de estas características se incide en el **desarrollo**

simultáneo de los distintos procesos fisiológicos y mecánicos implicados en el rendimiento de competición. En la aplicación de un método resistido, en el que la velocidad es equiparable a la de competición, el requerimiento energético por unidad de tiempo es superior al de competición, incidiendo, por tanto, en función de la duración de competición, en el desarrollo de un mayor porcentaje de eficiencia aeróbica, aeróbica-anaeróbica y anaeróbica, debido también a tener que tolerar una mayor concentración de lactato durante menos tiempo que en la competición.

Método asistido

Componentes del entrenamiento

El objetivo del **método asistido** es mantener o incrementar ligeramente la velocidad de competición incidiendo en una mayor frecuencia del ciclo como consecuencia de una **disminución de la carga** o resistencia a superar. Al igual que en el método resistido, la duración y velocidad de desplazamiento durante un método asistido deben simular la competición. En función de en qué medida se facilite el movimiento, es posible completar la **duración de la competición a una velocidad equivalente e incluso superior**. Aunque este método se puede utilizar para todas las duraciones del esfuerzo, tiene especial aplicabilidad en los esfuerzos máximos continuos de muy corta duración, en los que es difícil incrementar la frecuencia de aplicación de la fuerza mediante otros métodos de trabajo. La disminución de la carga o resistencia y el incremento de la frecuencia de aplicación de fuerza no deben diferir significativamente de los parámetros de competición. Igualmente, existen **diferentes medios** aplicables a las distintas modalidades deportivas que permiten disminuir la magnitud de la carga de competición: (i) disminuyendo el peso sobre el que se manifiesta la fuerza (p. ej., materiales menos pesados); (ii) disminuyendo el nivel de resistencia mecánica (p. ej., menor desarrollo al habitual en ciclismo, menor resistencia a la habitual en ergómetros específicos de distintas modalidades deportivas); (iii) disminuyendo la resistencia aerodinámica e hidrodinámica (p. ej., modificando la posición corporal, los materiales, la vestimenta, aprovechando la dirección del viento y de la corriente del agua, etc.); (iv) disminuyendo la pendiente; (v) incrementando el grado de elasticidad de la superficie sobre la que se aplica

la fuerza, y (vi) introduciendo elementos que disminuyen de forma progresiva la resistencia de avance al movimiento (p. ej., cuerdas elásticas).

Zona metabólica

Para una duración y velocidad equivalentes a las de competición, lógicamente se incide en la **zona metabólica específica de competición**. En este caso, el mayor requerimiento energético asociado a la mayor frecuencia de aplicación de fuerza es compensado por el menor requerimiento energético asociado a la aplicación de una fuerza de menor magnitud. Consiguientemente, mediante la práctica de un método asistido que cumpla estas características se induce simultáneamente el desarrollo de la globalidad de los factores de rendimiento que optimizan el rendimiento en competición.

Objetivos de trabajo

El principal objetivo de trabajo del método asistido es el **desarrollo de la fuerza resistencia específica** que requiere el deportista en competición. En este caso, la mejora de la fuerza resistencia se asocia a una **mejora de los factores mecánicos y metabólicos asociados a una mayor frecuencia de aplicación de la fuerza**. Un incremento de la frecuencia de aplicación de la fuerza implica mayor exigencia del sistema neuromuscular en la activación de las unidades motrices tanto en la rapidez de transmisión del impulso nervioso como en la distribución de fibras reclutadas durante el movimiento. Esto es especialmente exigente en modalidades deportivas en las que la propia velocidad de competición sea próxima a la máxima velocidad de desplazamiento que puede desarrollar el deportista. Además, aunque la zona metabólica durante la práctica de un método asistido puede equipararse a la de competición, las condiciones en que se desarrolla el metabolismo son diferentes. La aportación energética en cada ciclo es significativamente menor, pero aumenta la frecuencia con que se necesita la energía. Probablemente, las adaptaciones inducidas por el método asistido en el patrón de reclutamiento de unidades motrices y en el metabolismo permiten un movimiento más eficiente desde una perspectiva mecánica y fisiológica.

Método con sobrecarga

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

El **método con sobrecargas** persigue mejorar la fuerza resistencia específica mediante la utilización de cargas muy superiores a las de competición fundamentalmente mediante la ejecución de ejercicios con una barra de pesas (**véase el capítulo 3** para un análisis detallado de los componentes y objetivos de trabajo del entrenamiento con sobrecargas para optimizar la fuerza resistencia).

2.8. Aplicación de la metodología del entrenamiento para el desarrollo de los esfuerzos continuos de intensidad constante

El objetivo de este apartado es establecer las referencias de los principales métodos de entrenamiento aplicables para la **optimización del rendimiento de los esfuerzos máximos continuos** de distinta duración.

Según las justificaciones establecidas, para las distintas duraciones de esfuerzo se requiere incidir en cuatro objetivos fundamentales: (i) el **desarrollo de la zona metabólica específica y de sus factores de rendimiento asociados**; (ii) el **desarrollo de los límites fisiológicos** correspondientes a cada zona metabólica; (iii) las respuestas adaptativas del **nivel de entrenamiento facilitado**: zona metabólica de menor intensidad y exigencia de aplicación de fuerza, y tolerancia al lactato con requerimiento energético significativamente inferior al de competición, y (iv) las respuestas adaptativas del **nivel de entrenamiento dificultado**: zona metabólica de mayor intensidad y mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza.

Estos cuatro objetivos han sido justificados y descritos para cada intervalo de duración en que se han subdividido los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante. También se han justificado y descrito los objetivos de trabajo correspondientes a los distintos métodos de entrenamiento. Por tanto, disponemos del conocimiento suficiente para asociar los métodos de entrenamiento de mayor aplicación al desarrollo de cada uno de los cuatro objetivos de entrenamiento para cada intervalo de duración de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante. Sirvan como referencia los métodos de mayor aplicación propuestos para el desarrollo de las distintas zonas metabólicas en la tabla 4.19.

Como criterio didáctico se presenta en este apartado un análisis más específico para cada intervalo de duración en que se han subdividido los esfuerzos máximos continuos. Las tablas presentadas únicamente deben servir como criterio de referencia, siendo el lector, como se ha indicado repetidamente, quien de acuerdo con su nivel de conocimiento y reflexión establezca numerosas variantes de los métodos de entrenamiento que sean de aplicación adecuada para el desarrollo de los distintos esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante. Por ello es necesario que el lector conozca previamente el nivel de reflexión realizado por los autores para así poder relacionar los métodos de entrenamiento con los distintos objetivos de trabajo.

En primer lugar, se ha establecido que para el **desarrollo de las distintas zonas metabólicas** y de sus factores de rendimiento asociados, y para el **desarrollo de los límites fisiológicos** asociados a cada zona metabólica, se requiere la aplicación de los **métodos de entrenamiento caracterizados por una intensidad relativa próxima a la máxima** (fraccionado y continuo practicados a intensidad elevada y fraccionado y continuo que simulan la competición). Esta especificidad del entrenamiento únicamente puede ser aplicada para los esfuerzos de una duración inferior a 15 min mediante el método fraccionado practicado a intensidad elevada y los métodos fraccionados y continuos que simulan la competición. Para todos los esfuerzos de una duración superior a 15 min, únicamente el método continuo practicado a intensidad elevada y los métodos fraccionados y continuos que simulan la competición pueden incidir en el desarrollo de los factores de rendimiento asociados a sus correspondientes zonas metabólicas.

TABLA 4.19. Métodos de entrenamiento de mayor aplicación para el desarrollo específico, facilitado y dificultado de las distintas zonas metabólicas

	<i>Nivel específico</i>	<i>Nivel facilitado</i>	<i>Nivel dificultado</i>
Eficiencia anaeróbica (6 seg-6 min)	Fraccionado de intensidad elevada	Fraccionado de intensidad elevada de mayor duración	Fraccionado de intensidad elevada de menor duración
	Fraccionados y continuos que simulan la competición	Fraccionado de intensidad moderada	
Eficiencia aeróbica- anaeróbica (6 min-2 h)	Fraccionado de intensidad elevada	Continuo de intensidad elevada de mayor duración	Continuo de intensidad elevada de menor duración
	Continuo de intensidad elevada	Continuo de intensidad moderada	Fraccionado de intensidad elevada de menor duración
	Fraccionados y continuos que simulan la competición	Fraccionado de intensidad moderada	
Eficiencia aeróbica (más de 2 h)	Continuo de intensidad elevada	Continuo de intensidad elevada de mayor duración	Continuo de intensidad elevada de menor duración
	Fraccionados y continuos que simulan la competición	Continuo de intensidad moderada	

* Menor o mayor duración en relación con la duración de la competición.

Original de los autores.

En segundo lugar, se ha establecido que el **nivel de entrenamiento dificultado** para una determinada duración de esfuerzo debe incidir en el desarrollo de la zona metabólica más próxima de mayor intensidad y en el desarrollo de la fuerza resistencia con mayor exigencia que en competición. Por ello, además de indicar los **métodos de entrenamiento asociados al desarrollo de la zona metabólica de mayor intensidad**, se especifican los **métodos de entrenamiento que inciden en la aplicación de mayor magnitud y/o frecuencia de fuerza**. Lógicamente, todos los métodos de entrenamiento de aplicación a una zona metabólica de mayor intensidad implican mayor velocidad de desplazamiento que en competición, asociándose a una mayor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza. Por este motivo, los métodos de entrenamiento indicados para el desarrollo de una zona metabólica de mayor intensidad son también indicados en el desarrollo de una mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza. Además de estos métodos de entrenamiento asociados al incremento de la velocidad de desplazamiento, se indican para todos los esfuerzos máximos continuos los métodos que inciden en la aplicación de una mayor magnitud de fuerza (con sobrecargas y resistido) y en una mayor frecuencia de aplicación de fuerza (asistido). Como ya se ha indicado, aunque el método asistido se pueda considerar un nivel de entrenamiento facilitado

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

debido a que implica habitualmente la aplicación de menor magnitud de fuerza, se le ha considerado un método asociado a un nivel de entrenamiento dificultado desde la perspectiva de que su objetivo de trabajo es incidir en una mayor frecuencia de aplicación de fuerza. Hay que destacar también que, si bien el método de entrenamiento asistido tiene mayor aplicación en esfuerzos de muy corta duración, en algunas modalidades deportivas su objetivo de trabajo es relevante para el desarrollo de esfuerzos máximos continuos de larga duración.

En tercer lugar, se ha establecido que el **nivel de entrenamiento facilitado** para una determinada duración de esfuerzo debe incidir en el desarrollo de la zona metabólica más próxima de menor intensidad y en el desarrollo de la fuerza resistencia con menor exigencia que en competición. En este sentido, los **métodos de entrenamiento que inciden en el desarrollo de la zona metabólica de menor intensidad** implican la aplicación de menor velocidad de desplazamiento que en competición, y, por tanto, son los que inciden de forma directa también en la aplicación de menor magnitud y frecuencia de fuerza. Al coincidir los mismos métodos de entrenamiento para los dos objetivos de trabajo, sólo se indica en las tablas de referencia el objetivo de desarrollar una zona metabólica de intensidad inferior a la de competición.

En cuarto lugar, se considera que uno de los objetivos principales del nivel de entrenamiento facilitado es demandar del deportista una tolerancia a concentraciones de lactato que se aproximen progresivamente a las de competición. Por una parte, se trabaja este objetivo al aplicar métodos de entrenamiento que inciden en el desarrollo de una zona metabólica de menor intensidad. Por otra parte, sin embargo, estos métodos tienen un nivel de exigencia elevado, ya que tanto el nivel de concentración de lactato como el requerimiento energético por unidad de tiempo no se alejan excesivamente del requerido en competición. Para trabajar la tolerancia y eliminación de lactato con menor nivel de exigencia, se requiere el **método fraccionado practicado a una intensidad moderada**, ya que permite incidir en concentraciones incluso superiores a las de competición pero con un nivel de requerimiento energético por unidad de tiempo significativamente inferior. Por este motivo, se plantea como uno de los objetivos principales del nivel de entrenamiento facilitado el desarrollo de la tolerancia al lactato con un nivel de requerimiento energético muy inferior al de competición.

En quinto lugar, entre los objetivos de los métodos continuos y fraccionados que simulan la competición se ha destacado el dificultar o

facilitar los procesos fisiológicos y mecánicos asociados al rendimiento de una determinada duración del esfuerzo. Sin embargo, las posibles variaciones que se pueden realizar de estos métodos de trabajo implican que en una misma sesión de entrenamiento se facilite y dificulte simultáneamente algunos de los procesos que inciden en la competición. Además, finalmente el objetivo de estos métodos de entrenamiento es preparar al deportista para realizar estímulos de entrenamiento que incidan globalmente en todos los factores asociados al rendimiento de competición. Por este motivo, didácticamente, sólo estos métodos de entrenamiento se han asociado al desarrollo de la zona metabólica específica de competición y a sus factores de rendimiento asociados.

Por último, es de especial relevancia destacar que los métodos de entrenamiento están asociados al desarrollo de un determinado intervalo temporal de esfuerzos y, por consiguiente, sus directrices no son directamente aplicables a un esfuerzo de una duración concreta. Así, por ejemplo, para el intervalo de esfuerzos de una duración comprendida entre 2 y 6 min, se considera que desde la perspectiva metabólica los niveles de entrenamiento dificultado y facilitado deben incidir, respectivamente, en la zona de intensidad media de eficiencia anaeróbica (1-2 min) y en la zona de intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica (6-30 min).

Aunque este análisis puede ser adecuado para la globalidad del intervalo temporal de esfuerzos, es probable que, por ejemplo, para una prueba de 4 min, un nivel de entrenamiento dificultado y facilitado más específico deba incidir, respectivamente, en las zonas metabólicas asociadas a un esfuerzo de 2-4 min y de 4-6 min.

Esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg

En **esfuerzos máximos continuos de 6 a 10 seg** se requiere durante los primeros segundos la máxima potencia anaeróbica aláctica y láctica, por lo que los **límites fisiológicos** de este intervalo de esfuerzos se manifiestan al inicio de la prueba. Al requerirse la potencia de las vías metabólicas que aportan mayor requerimiento energético por unidad de tiempo, no existe la posibilidad de realizar un nivel de entrenamiento dificultado sobre la base del aumento de la intensidad de la zona metabólica. Por este motivo, los métodos de trabajo que desarrollan los límites fisiológicos y la **zona metabólica específica** son coincidentes.

Además de los métodos que simulan la competición, son adecuados para el desarrollo de estos objetivos los métodos fraccionados que permiten desarrollar la máxima intensidad posible desde el inicio del esfuerzo. Este requisito únicamente es posible si la duración del esfuerzo es muy breve (mseg-15 seg). Durante esta temporalidad se desarrolla simultáneamente la potencia anaeróbica aláctica y láctica, y, cuando la duración de las repeticiones es 6-15 seg, también se incide en el desarrollo de la intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica y sus factores de rendimiento asociados.

En esfuerzos de 6 a 10 seg únicamente es posible establecer un **nivel de entrenamiento dificultado** modificando los patrones de la manifestación de fuerza. La única posibilidad de incrementar la velocidad de competición es mediante la aplicación de distintos medios asociados al método asistido. Para incrementar la magnitud de fuerza, además de la aplicación del método resistido, es de especial relevancia el entrenamiento con sobrecargas. De hecho, hay que considerar que en la primera parte de un esfuerzo de 6 a 10 seg el deportista manifiesta su fuerza explosiva. La importancia del entrenamiento con sobrecargas para el desarrollo de la fuerza explosiva manifestada en una determinada acción motriz se ha justificado en el capítulo 3.

TABLA 4.20. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 6 y 10 seg

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica aláctica y láctica y su Tlím		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Potencia anaeróbica aláctica y láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Cinética del $\dot{V}O_2$ – Economía de esfuerzo – Fuerza explosiva – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica (10-30 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (10-30 seg)

Original de los autores.

El **nivel de entrenamiento facilitado** en pruebas de una duración de 6 a 10 seg se asocia al desarrollo de la propia zona de intensidad muy elevada de eficiencia anaeróbica para un esfuerzo de duración más prolongada (10-30 seg). El único objetivo de trabajar en este intervalo temporal es someter al deportista a estímulos crecientes en la velocidad de desplazamiento. No se incluye método alguno de trabajo asociado a la tolerancia láctica debido a que este factor no se ha considerado importante para el rendimiento.

Esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg

En los **esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg**, además de los métodos que simulan la competición, únicamente el método fraccionado ejecutado a intensidad elevada con una duración de las repeticiones similar a la de la competición puede incidir en el desarrollo de la **zona metabólica específica**, la intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica. En este caso, el método fraccionado de intensidad elevada con una duración más próxima a los 10 seg incide de forma más específica en el desarrollo de una mayor velocidad de resíntesis del ATP por la vía anaeróbica láctica, y el método con

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

una duración más próxima a los 30 seg incide de forma más específica en el desarrollo de la cinética del VO_2 y en la tolerancia al lactato y su eliminación.

Desde la perspectiva metabólica, el **nivel de entrenamiento dificultado** de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 10 y 30 seg es coincidente con el desarrollo de sus **límites fisiológicos**, la potencia anaeróbica aláctica y láctica. Como ya se ha indicado, el desarrollo de estos objetivos implica la ejecución de métodos fraccionados de una duración de mseg-15 seg realizados a la máxima intensidad posible. Si el esfuerzo dura 6-15 seg, se incide de forma específica en la zona de mayor intensidad de eficiencia anaeróbica. En este caso, debido a la menor duración de las repeticiones, el nivel de entrenamiento dificultado implica menor concentración de lactato, pero demanda mayor velocidad de resíntesis del ATP por vía aláctica y láctica. Debemos recordar que en esfuerzos máximos continuos de 10 a 30 seg el desarrollo de la potencia anaeróbica aláctica y láctica tiene especial relevancia, ya que en la competición la velocidad de resíntesis del ATP por ambas vías metabólicas está próxima a la máxima. Al igual que en esfuerzos de 6 a 10 seg, es importante la aplicación de los métodos asistido, resistido y con sobrecargas.

El **nivel de entrenamiento facilitado** debe incidir en la ejecución del método fraccionado de intensidad elevada con una duración superior a la de competición (30-60 seg). Este tipo de trabajo está globalmente asociado a una mayor concentración de lactato que en competición, pero con un requerimiento energético por unidad de tiempo significativamente inferior y una menor exigencia en la velocidad de resíntesis del ATP por el metabolismo aeróbico. El deportista debe ser sometido igualmente a estímulos de entrenamiento que lo adapten progresivamente a una mayor exigencia de tolerancia láctica. El nivel de menor exigencia para trabajar este objetivo está asociado al método fraccionado ejecutado a intensidad moderada. Dentro de este método de trabajo, únicamente la ejecución de repeticiones de corta duración (15-30 seg) puede permitir simultáneamente alcanzar concentraciones de lactato elevadas y no alejarse excesivamente el requerimiento energético por unidad de tiempo respecto al requerido en competición.

Esfuerzos máximos continuos de 30 seg a 1 min

Siguiendo con las directrices establecidas, para los **esfuerzos máximos**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

continuos de 30 seg a 1 min únicamente los métodos que simulan la competición y el método fraccionado ejecutado a intensidad elevada con una duración de las repeticiones similar a la duración de la competición pueden incidir en el desarrollo de la **zona metabólica específica** y en sus factores de rendimiento asociados. El método fraccionado ejecutado a intensidad elevada y duración entre mseg y 15 seg debe utilizarse para el desarrollo de la potencia anaeróbica aláctica y láctica, que determinan los **límites fisiológicos** para este intervalo de esfuerzos.

TABLA 4.21. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 10 y 30 seg

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica aláctica y láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración alta – Cinética del $\dot{V}O_2$ – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (10-30 seg)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-10 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (6-10 seg)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (6-10 seg)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica (30-60 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (30-60 seg)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (15-30 seg)

Original de los autores.

El método fraccionado ejecutado a intensidad elevada con repeticiones de 6 a 30 seg y con repeticiones de 1 a 2 min va a incidir, respectivamente, en el desarrollo de las zonas metabólicas de mayor y menor intensidad que la de competición, asociadas a los **niveles de entrenamiento dificultado y facilitado**. Las repeticiones de 6 a 30 seg implican, además del desarrollo de

los procesos anaeróbicos (capacidad anaeróbica aláctica y mayor velocidad de resíntesis del ATP por vía anaeróbica), una mayor exigencia de la cinética del VO_2 . Las repeticiones de 1 a 2 min incidirán específicamente en el desarrollo del VO_2 máx., estableciéndose una menor exigencia en la cinética del VO_2 y en el requerimiento energético por vía anaeróbica, lo que determina una concentración de lactato significativamente inferior. Debido a que los niveles máximos de lactato se observan en esfuerzos de ~45 seg, para una prueba de 30 seg el desarrollo de la tolerancia a concentraciones de lactato superiores a la de competición debe realizarse mediante la aplicación de un método fraccionado o de simulación de la competición de una duración ligeramente superior. En cambio, para una prueba de 60 seg este objetivo de trabajo debe realizarse con métodos fraccionados o de simulación de la competición de una duración ligeramente inferior.

Al igual que en esfuerzos de una duración inferior, se requiere el desarrollo de la fuerza resistencia con un mayor nivel de exigencia. Aunque se puede utilizar el método asistido, la principal vía de desarrollo de una mayor frecuencia en la aplicación de fuerza es la ejecución de métodos que impliquen una mayor velocidad de desplazamiento que en competición. Como el requerimiento energético por unidad de tiempo en esfuerzos de 30 a 60 seg sigue siendo muy elevado, cabe utilizar los métodos resistidos y con sobrecargas con similar planteamiento al de esfuerzos de menor duración.

Para trabajar la tolerancia láctica con un requerimiento energético significativamente menor, únicamente el método fraccionado ejecutado a intensidad moderada con una duración corta de las repeticiones (15-60 seg) permitirá que en las últimas repeticiones la concentración de lactato sea equiparable a la de competición.

TABLA 4.22. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 30 seg y 1 min

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica aláctica y láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración muy alta – Cinética del $\dot{V}O_2$ – $\dot{V}O_2$ máx. – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (30-60 seg)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-30 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (6-30 seg)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (6-30 seg)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica (1-2 min)		Fraccionado a intensidad elevada (1-2 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (15-60 seg)

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min

En los **esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 min**, además de los métodos que simulan la competición, el método fraccionado ejecutado a intensidad elevada y duración media incide en el desarrollo de la **zona metabólica específica** y sus factores de rendimiento asociados. Además, este método de entrenamiento es el más específico para el desarrollo del $\dot{V}O_2$ máx., uno de los **límites fisiológicos** de este intervalo temporal de esfuerzos. El método fraccionado aplicado a intensidad elevada y duración corta (mseg-15 seg) es adecuado para manifestar la potencia anaeróbica láctica, el límite fisiológico superior de las pruebas de 1 a 2 min. El desarrollo de este límite fisiológico es especialmente determinante en las pruebas más próximas a 1 min y en las modalidades deportivas caracterizadas por un incremento de la intensidad en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

la parte final del esfuerzo.

El método fraccionado practicado a intensidad elevada y con una duración de las repeticiones de 30 seg a 1 min incide en la zona de intensidad elevada de eficiencia anaeróbica, correspondiente al **nivel de entrenamiento dificultado** de los esfuerzos de 1 a 2 min, al exigir mayor velocidad de resíntesis del ATP por vía aeróbica y anaeróbica, así como la tolerancia a concentraciones superiores de lactato. El método fraccionado practicado a intensidad elevada y una duración de las repeticiones de 2 a 6 min incide en la zona de intensidad baja de eficiencia anaeróbica, correspondiente al **nivel de entrenamiento facilitado** de los esfuerzos de 1 a 2 min, ya que, aunque permiten desarrollar el VO_2 máx., el nivel de exigencia en la cinética del VO_2 y en la tolerancia láctica es significativamente inferior. Lógicamente, todavía con mayor especificidad es posible dificultar y facilitar el nivel de entrenamiento con la aplicación de un método continuo que simule la competición, respectivamente, de menor y mayor distancia que la de la prueba.

El requerimiento energético por unidad de tiempo de los esfuerzos de 1 a 2 min es significativamente inferior al máximo que puede desarrollar el deportista. Desde esta perspectiva, aunque también son de aplicación los métodos de sobrecargas, resistido y asistido, la principal vía para dificultar o facilitar la fuerza resistencia es la aplicación de los métodos de entrenamiento que implican mayor o menor velocidad que la de competición.

La concentración de lactato al finalizar un esfuerzo comprendido entre 1 y 2 min sigue siendo muy elevada. Por este motivo, con el fin de trabajar la tolerancia láctica con un requerimiento energético significativamente inferior al de competición, la duración de las repeticiones en el método fraccionado practicado a intensidad moderada no debe ser excesiva (30 seg a 2 min). En este intervalo de tiempo, la reducción progresiva de la duración de las repeticiones va a inducir un incremento progresivo del nivel de requerimiento energético y de la concentración de lactato.

TABLA 4.23. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 1 y 2 min

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
VO ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-3 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad media de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración alta – Cinética del VO₂ – VO₂ máx. y VAM – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (1-2 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica (30-60 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (30-60 seg)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (30-60 seg)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (2-6 min)		Fraccionado a intensidad elevada (2-6 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (30 seg-2 min)

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min

En los **esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min**, el desarrollo de la **zona metabólica específica** y de los factores de rendimiento asociados requiere, además de la aplicación de los métodos que simulen la competición, la del método fraccionado practicado a intensidad elevada con una duración de las repeticiones equivalente a la de la competición. Una duración de las repeticiones de 1 a 6 min incide además en el desarrollo del VO₂ máx., y la ejecución de repeticiones de 3 a 6 min, en el Tlím a VAM, ambos factores

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

considerados **límites fisiológicos** determinantes del rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de 2 a 6 min. Estos esfuerzos se desarrollan en la zona de intensidad baja de eficiencia anaeróbica. En este sentido, se ha establecido la potencia anaeróbica láctica como el límite fisiológico superior de los esfuerzos de 2 a 6 min, debiendo desarrollarse, como se indicado repetidamente, con la aplicación del método fraccionado a intensidad elevada y duración de las repeticiones de mseg a 15 seg. Sin embargo, hay que resaltar que en este intervalo de esfuerzo la importancia relativa de la potencia anaeróbica láctica es muy inferior a la de esfuerzos de menor duración, e incluso sería discutible la necesidad de trabajarla específicamente en pruebas de 4-6 min ejecutadas a intensidad constante.

El **nivel de entrenamiento dificultado** requiere el método fraccionado practicado a intensidad elevada y duración de las repeticiones de 1 a 2 min, incidiendo en el desarrollo de la zona metabólica de mayor intensidad, con mayor exigencia de la cinética de VO_2 y mayor contribución del metabolismo anaeróbico asociado a una mayor concentración de lactato.

Una menor exigencia que en competición de tolerancia láctica asociada al **nivel de entrenamiento facilitado** se atribuye a la aplicación del método fraccionado a intensidad elevada de mayor duración de las repeticiones (6-15 min) y a la del método continuo de intensidad elevada de menor duración. El menor nivel de exigencia de tolerancia láctica asociada a un requerimiento energético significativamente inferior debe trabajarse con el método fraccionado practicado a intensidad moderada y una duración de las repeticiones que, en función de la duración de la competición y de la progresión en el entrenamiento, debe situarse entre 45 seg y 3 min.

Lógicamente, la aplicación de métodos fraccionados de mayor o menor duración para el desarrollo de los factores de rendimiento específicos o para el nivel de entrenamiento dificultado o facilitado es dependiente de la duración de la competición dentro de este intervalo temporal de esfuerzos. Al igual que en esfuerzos de 1 a 2 min, la principal vía para desarrollar la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza es la práctica de métodos de entrenamiento a mayor velocidad que en competición. En esfuerzos de esta duración, como se especifica en la metodología del entrenamiento de fuerza, el entrenamiento con sobrecargas es de aplicación exclusiva para desarrollar un nivel óptimo de fuerza.

Esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min

Los **esfuerzos máximos continuos de 6 a 30 min** se sitúan en la intensidad más elevada de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. En esta **zona metabólica específica** cabe desarrollar, con los métodos que simulan la competición, los métodos fraccionados practicados a intensidad elevada de mayor duración y los métodos continuos de intensidad elevada de menor duración.

Para la realización de un esfuerzo máximo continuo de 6 a 30 min se requiere un elevado $\%VO_2$ máx. De hecho, se ha justificado que el VO_2 máx. y la VAM son, además del **límite fisiológico** de este intervalo de esfuerzo, su principal vía de optimización. Por este motivo, debe ser parte esencial del entrenamiento de una prueba de 6 a 30 min la aplicación del método fraccionado a intensidad elevada y duración de las repeticiones de 1 a 6 min, ya que incide de forma específica en el desarrollo de estos dos factores de rendimiento. Además, este método de entrenamiento corresponde al **nivel de entrenamiento dificultado**, pues incide en la zona metabólica de mayor intensidad, exigiendo al deportista la tolerancia a una concentración de lactato superior que se asocia a un mayor requerimiento energético por unidad de tiempo. A su vez, este método de trabajo es la principal vía de desarrollo de una mayor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza que en competición. Para este objetivo, al igual que en esfuerzos de 2 a 6 min, son de aplicación los métodos de sobrecargas y resistido.

TABLA 4.24. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 2 y 6 min

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
ṼO ₂ máx. y VAM y Tlím a VAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-alta – Cinética del ṼO₂ – ṼO₂ máx. y VAM – Tlím a VAM – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (2-6 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad media de eficiencia anaeróbica (1-2 min)		Fraccionado a intensidad elevada (1-2 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (1-2 min)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica (6-30 min)		Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)
		Continuo a intensidad elevada (20-30 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (45 seg-3 min)

Original de los autores.

El **nivel de entrenamiento facilitado** debe incidir en métodos de trabajo que impliquen menor intensidad que la de competición. Globalmente, para este intervalo de esfuerzos, esto implica trabajar en la intensidad media de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica con la aplicación del método continuo a intensidad elevada de una duración de 30-60 min. Este método de trabajo permite adaptaciones aeróbicas a nivel central y periférico y requiere una menor exigencia en la tolerancia láctica. Lógicamente, un método continuo de menor duración puede ser apropiado como entrenamiento facilitado para

las competiciones que se aproximen a una duración de 6 min. También las diferentes variantes de los métodos que simulan la competición son válidas para incidir en un entrenamiento de mayor o menor exigencia.

La concentración de lactato de un esfuerzo de 6 a 30 min no es excesivamente elevada, $\sim 6-8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Por este motivo, la duración de las repeticiones del método fraccionado aplicado a intensidad moderada debe ser relativamente elevada, de 2 a 15 min. La disminución progresiva de la duración de las repeticiones desde los 15 hasta los 2 min constituye una vía adecuada para incrementar progresivamente el nivel de exigencia de tolerancia láctica durante el proceso de entrenamiento del deportista.

TABLA 4.25. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 6 y 30 min

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx., VAM y Tlim a VAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-baja – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)
		Continuo a intensidad elevada (20-30 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (2-6 min)		Fraccionado a intensidad elevada (2-6 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (2-6 min)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica (30-60 min)		Continuo a intensidad elevada (30-60 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (2-15 min)

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En los **esfuerzos máximos continuos de 30 min a 1 h**, la **zona metabólica específica**, intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica, únicamente se puede desarrollar mediante los métodos que simulan la competición y con el método continuo practicado a intensidad elevada. La optimización del rendimiento de esta zona metabólica requiere niveles óptimos de sus **límites fisiológicos**, tanto de la VAM asociada a un elevado VO_2 máx. como de la VUan. El método fraccionado practicado a intensidad elevada y con una duración de 3 a 6 min es el que permite desarrollar una velocidad equiparable a la VAM. Para el desarrollo de la VUan es necesaria la aplicación del método continuo practicado a intensidad elevada de una duración superior a 1 h.

Los **niveles de entrenamiento dificultado y facilitado** de un esfuerzo de 30 min a 1 h están asociados, respectivamente, al trabajo en la zona de mayor y menor intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Como se ha indicado previamente, la intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica puede desarrollarse con los métodos fraccionados practicados a intensidad elevada de mayor duración y los métodos continuos practicados a intensidad elevada de menor duración. Los métodos continuos practicados a intensidad elevada de mayor duración que la de competición son los más específicos para incidir en la intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica. También es de aplicación para este objetivo el método continuo practicado a intensidad moderada de relativamente corta duración (30-40 min). Con los métodos que simulan la competición también se puede incidir en una zona metabólica de mayor o menor intensidad que la de competición. El trabajo a mayor y menor intensidad que la de competición permite facilitar o dificultar la tolerancia láctica modificando el nivel de concentración de lactato y el requerimiento energético por unidad de tiempo. Los métodos de menor intensidad absoluta pero mayor duración permiten además incidir en el desarrollo de la termorregulación y el equilibrio hidroelectrolítico. La modificación de la velocidad respecto a la de competición es también la principal vía para modificar la magnitud y la frecuencia de aplicación de la fuerza. Al igual que para otros intervalos de esfuerzos, la magnitud de fuerza puede desarrollarse mediante métodos de sobrecargas y resistido.

El trabajo de tolerancia láctica con requerimiento energético significativamente inferior al de competición debe realizarse con el método fraccionado aplicado a intensidad moderada y larga duración de las repeticiones.

TABLA 4.26. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 30 min y 1 h

Límites fisiológicos		Métodos
V̇O ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (3-6 min)
VUan		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-baja – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Continuo a intensidad elevada (30-60 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica (6-30 min)		Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)
		Continuo a intensidad elevada (20-30 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)
		Continuo a intensidad elevada (20-30 min)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (1-2 h)		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
		Continuo a intensidad moderada (30-40 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (3-15 min)

Original de los autores.

Esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h

Los **esfuerzos máximos continuos de 1 a 2 h** se sitúan en función del nivel del deportista y de la duración del esfuerzo en la intensidad más baja de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y el Tlím a VUan. Además de los métodos que simulan la competición, el método continuo aplicado a intensidad elevada de una duración equiparable a la de competición es el que incide en el desarrollo de esta **zona metabólica específica** y sus factores de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

rendimiento asociados. Además, este método de trabajo permite incidir en el desarrollo de la VUan, que constituye el **límite fisiológico** inferior y la principal vía de optimización del rendimiento en pruebas de una duración de 1 a 2 h. El método fraccionado practicado a intensidad elevada y de larga duración debe utilizarse para incidir específicamente en la zona de trabajo asociada a la VAM y el VO_2 máx., que constituyen el límite fisiológico superior de este intervalo de esfuerzos y son parámetros determinantes para la optimización de la VUan.

La aplicación de métodos continuos a intensidad elevada de menor duración que la competición permite el desarrollo del **nivel de entrenamiento dificultado** al asociarse a una mayor concentración de lactato, al requerir el equilibrio de la temperatura corporal e hidroelectrolítico con mayor actividad metabólica por unidad de tiempo, y al incrementar la magnitud y frecuencia de aplicación de la fuerza. Como se ha indicado repetidamente, los métodos de sobrecargas y resistido son de aplicación para el desarrollo de la magnitud de fuerza.

TABLA 4.27. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración comprendida entre 1 y 2 h

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (3-6 min)
VUan y Tlím a VUan		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración baja – Capacidad aeróbica glucolítica – Movilización de grasas – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica (30-60 min)		Continuo a intensidad elevada (30-60 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Continuo a intensidad elevada (30-60 min)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Eficiencia aeróbica		Continuo a intensidad elevada (>2 h)
		Continuo a intensidad moderada (1-2 h)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (3-15 min)

Original de los autores.

Globalmente, para el intervalo de esfuerzos de 1 a 2 h, el **nivel de entrenamiento facilitado** está asociado a una intensidad inferior a la VUan, en la zona de mayor intensidad de eficiencia aeróbica. Esta zona de eficiencia aeróbica es desarrollada específicamente mediante la aplicación del método continuo de intensidad elevada de muy larga duración. La aplicación del método continuo practicado a intensidad moderada determina el menor nivel de exigencia aplicable en el proceso de entrenamiento. Los métodos continuos practicados a intensidad elevada de mayor duración que la competición, aunque evidencian menor nivel de concentración de lactato, permiten incidir de forma compleja en el desarrollo con menor requerimiento energético que en competición de la capacidad aeróbica glucolítica, de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

movilización de grasas y del equilibrio térmico corporal e hidroelectrolítico. También es de aplicación para el trabajo de tolerancia láctica el método fraccionado practicado a intensidad moderada con una duración larga de las repeticiones.

La aplicación de métodos continuos practicados a intensidad elevada y moderada de larga duración en condiciones dificultadas, dieta baja en hidratos de carbono y/o elevada temperatura y humedad son variantes realizables para la optimización del rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de una duración superior a 1 h.

Esfuerzos máximos continuos de más de 2 h

Los **esfuerzos máximos continuos de más de 2 h** se sitúan en función de la duración a distintas intensidades de la zona de eficiencia aeróbica. Dependiendo de la modalidad deportiva y de la duración del esfuerzo resulta complicado realizar sucesivamente entrenamientos de una duración similar a la de competición. Independientemente, la base del desarrollo de la **zona metabólica específica** de competición únicamente puede consistir en métodos que simulan la competición, especialmente mediante esfuerzos de menor duración que la competición y con el método continuo practicado a intensidad elevada de muy larga duración.

Independientemente de la duración del esfuerzo, una de las principales vías de optimización del rendimiento es el desarrollo de la VUan, el primer **límite fisiológico**. El método continuo practicado a intensidad elevada de 1 a 2 h permite incidir en la VUan y constituye además el **nivel de entrenamiento dificultado** de las pruebas que se desarrollan en la zona de eficiencia aeróbica. La aplicación de este método de trabajo incide además en la tolerancia láctica de mayor exigencia y en un mayor requerimiento de energía por unidad de tiempo asociado al desarrollo de una mayor velocidad de resíntesis del ATP mediante los hidratos de carbono y las grasas. Este método de trabajo también incide en el desarrollo de la termorregulación y el equilibrio hidroelectrolítico asociado a una mayor actividad metabólica que en competición, y en el desarrollo de una mayor magnitud y frecuencia de aplicación de la fuerza. El desarrollo de una mayor magnitud de fuerza se puede trabajar también mediante los métodos de sobrecargas y resistido.

Como en esfuerzos de 1 a 2 h, la aplicación de métodos continuos de larga duración en condiciones dificultadas, dieta baja en hidratos de carbono y/o

elevada temperatura y humedad, son variantes realizables para la optimización del rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de una duración superior a 2 h.

Aunque probablemente con menor importancia relativa que en intervalos de esfuerzo de menor duración, el $\dot{V}O_2$ máx. asociado a una elevada VAM es un factor limitante del rendimiento. Su desarrollo específico se realiza mediante la aplicación del método fraccionado de intensidad elevada y larga duración.

El **nivel de entrenamiento facilitado** debe realizarse mediante la aplicación del método continuo practicado a intensidad moderada. Al efectuarse estos esfuerzos a una intensidad inferior a la VU_{an} , teóricamente, no es de aplicación para este intervalo de esfuerzos el trabajo con el método fraccionado de intensidad moderada cuyo objetivo principal es la tolerancia láctica.

TABLA 4.28. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de los esfuerzos máximos continuos de duración superior a 2 h

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (3-6 min)
VUan y Tlím a VUan		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración baja – Capacidad aeróbica glucolítica – Movilización de grasas – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Continuo a intensidad elevada (>2 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Nivel dificultado		
Intensidad baja de eficiencia aeróbica-anaeróbica (1-2 h)		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Eficiencia aeróbica de menor intensidad		Continuo a intensidad moderada (1-2 h)

Original de los autores.

Síntesis

- Se han establecido tres límites fisiológicos que determinan las distintas zonas metabólicas: Tlím a VUan en ~ 2 h, Tlím a VAM en ~ 6 min y Tlím a potencia aláctica y láctica en ~ 6 seg.
- La zona de eficiencia anaeróbica está determinada por el Tlím a potencia aláctica y láctica y el Tlím a VAM (~ 6 seg a ~ 6 min). La zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica está determinada por el Tlím a VAM y el Tlím a VUan (~ 6 min a ~ 2 h). La zona de eficiencia aeróbica a intensidad inferior al Tlím a VUan (>2 h).
- Para una mayor concreción, cada zona metabólica se estructura en función de la duración y, en consecuencia, intensidad de esfuerzo. Zona de eficiencia anaeróbica de muy alta (6-30 seg), alta (30-60 seg), media (1-2 min) y baja intensidad (2-6 min). Zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica de alta (6-30 min), media (30-60 min) y baja intensidad (1-2 h). Zona de eficiencia aeróbica II o de alta intensidad (2-3 h) y I o de baja intensidad (>3 h).
- El establecimiento de las distintas zonas metabólicas nos permite establecer la correspondiente a cualquier duración de un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante.
- Para cada zona metabólica, el concepto de eficiencia determina el porcentaje de aprovechamiento de su límite fisiológico superior para una duración o distancia determinadas.
- El rendimiento en un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante es dependiente de la eficiencia que tenga el deportista y de la magnitud de su correspondiente límite fisiológico.
- La eficiencia de un deportista depende de la compleja interacción de numerosos factores de rendimiento. Así, globalmente la eficiencia anaeróbica depende de la capacidad anaeróbica aláctica (~ 6 a 45 seg), cinética del VO_2 (~ 15 seg a 6 min), VO_2 máx. (~ 40 seg a 6 min), tolerancia a una concentración de lactato superior a $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, economía del esfuerzo y fuerza resistencia. Los factores que determinan la eficiencia aeróbica-anaeróbica son la capacidad aeróbica glucolítica (> 1 h), movilización de grasas (> 1 h), equilibrio térmico e hidroelectrolítico (~ 30 min), tolerancia a una concentración de lactato de $4-8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, economía del esfuerzo y fuerza resistencia. Los factores

que determinan la eficiencia aeróbica son la capacidad aeróbica glucolítica, la movilización de grasas, el equilibrio térmico e hidroelectrolítico, la tolerancia a una concentración de lactato inferior a 4 mmol·l⁻¹, la economía del esfuerzo y la fuerza resistencia.

- El desarrollo de la eficiencia de la zona metabólica correspondiente a una duración o distancia determinadas del esfuerzo, considerando la variedad de factores que la determinan, y el de sus correspondientes límites fisiológicos determinan el mapa conceptual de los factores de rendimiento específicos. La importancia relativa de cada uno de los factores para una zona metabólica concreta es dependiente de la duración del esfuerzo.
- Los niveles facilitado y dificultado de un determinado esfuerzo continuo ejecutado a intensidad constante corresponden, respectivamente, al desarrollo de la zona metabólica de menor y mayor intensidad más próxima a la zona metabólica requerida en competición. Por ejemplo, los niveles facilitado y dificultado de la zona media de eficiencia anaeróbica corresponden, respectivamente, al trabajo en la zona baja y alta de esta zona metabólica.
- Los métodos continuos de intensidad elevada y moderada, los métodos fraccionados de intensidad elevada y moderada, y los métodos que simulan la competición son los más adecuados para desarrollar los distintos niveles de entrenamiento requeridos en un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante. Además de estos métodos, son de aplicación para optimizar el rendimiento de los esfuerzos continuos los métodos asociados al entrenamiento de fuerza (sobrecargas, resistidos y asistidos).
- La metodología de entrenamiento de los esfuerzos continuos tiene poca evidencia científica. Por eso, los métodos más apropiados para cada duración de esfuerzo son establecidos mediante un planteamiento reflexivo basado en la especificidad del entrenamiento.
- El desarrollo del límite fisiológico superior de la zona de eficiencia anaeróbica, la potencia aláctica y láctica y su T_{lím} requiere la utilización de métodos fraccionados practicados a intensidad máxima con una duración máxima de las repeticiones de 15 seg. El desarrollo del límite fisiológico superior de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, VO₂ máx., VAM y T_{lím} a VAM requiere la utilización de métodos fraccionados practicados a intensidad elevada con una duración de las

repeticiones de 1-6 min. El desarrollo del límite fisiológico superior de la zona de eficiencia aeróbica, VUan y Tlím a VUan requiere la utilización de métodos continuos practicados a intensidad elevada con una duración de 1-2 h.

- El desarrollo del nivel de entrenamiento específico de las zonas de eficiencia aeróbica y aeróbica-anaeróbica de baja y media intensidad requiere, además de los métodos que simulan la competición, la utilización de métodos continuos ejecutados a intensidad elevada y similar duración que en competición.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento específico de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica de alta intensidad y de la zona de eficiencia anaeróbica requiere, además de los métodos que simulan la competición, la utilización de métodos fraccionados practicados a intensidad elevada y de similar duración que en competición.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado de la zona de eficiencia aeróbica requiere la utilización de métodos continuos practicados a intensidad elevada de mayor duración que la competición y de métodos continuos practicados a intensidad moderada. El nivel de entrenamiento dificultado de esta zona metabólica requiere la utilización de métodos continuos practicados a intensidad elevada de menor duración que la competición.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica requiere la utilización de métodos continuos practicados a intensidad elevada de mayor duración que la competición y de métodos continuos y fraccionados practicados a intensidad moderada. El nivel de entrenamiento dificultado de esta zona metabólica requiere la utilización de métodos continuos y fraccionados practicados a intensidad elevada de menor duración que la competición.
- El desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado de la zona de eficiencia anaeróbica requiere la utilización de métodos fraccionados practicados a intensidad elevada de mayor duración que la competición y de métodos fraccionados practicados a intensidad moderada. El nivel de entrenamiento dificultado de esta zona metabólica requiere la utilización de métodos fraccionados practicados a intensidad elevada de menor duración que la competición.

Cuestionario de asimilación

1. Justifica la necesidad de desarrollar los niveles de entrenamiento específico, facilitado y dificultado para optimizar la capacidad de resistencia en los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante.
2. Explica por qué no se observa una gran disminución de la concentración de ATP incluso en esfuerzos ejecutados a intensidad muy elevada.
3. Indica a partir de qué tiempo de duración de un esfuerzo máximo continuo es relevante la potencia del metabolismo anaeróbico láctico.
4. Explica el Tlím de la potencia aláctica y láctica.
5. Establece a partir de qué duración de un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante es predominante la participación del metabolismo aeróbico.
6. Indica en qué duraciones de un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante es relevante la tolerancia al lactato.
7. Establece el Tlím a VAM.
8. Enumera las distintas zonas metabólicas e identifica sus límites fisiológicos.
9. Define los intervalos de esfuerzos correspondientes a la zona de eficiencia anaeróbica, zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y zona de eficiencia aeróbica.
10. Establece los factores de rendimiento diferenciales en función de la duración del esfuerzo para la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.
11. Define la relación entre la concentración de lactato, la tolerancia al lactato y la intensidad y duración del esfuerzo.
12. Identifica los dos factores que determinan la VAM de un deportista.
13. Indica quién tiene una mejor economía del esfuerzo: un corredor de maratón o un corredor de 400 m.
14. Establece a partir de qué duración de un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante puede optimizarse el rendimiento mediante la ingestión de hidratos de carbono.
15. Justifica la importancia de la movilización de grasas en esfuerzos de

larga duración.

- 16.** Explicda la importancia relativa de la cinética del VO_2 máx. para el rendimiento en función de la duración del esfuerzo.
- 17.** Establece la concentración de lactato que cabe esperar al finalizar un esfuerzo de 1 min, 5 min, 30 min, 1 h y 3 h.
- 18.** Indica el intervalo de duración del esfuerzo en que se requiere el VO_2 máx. del deportista.
- 19.** Indica el intervalo de duración del esfuerzo en que el VO_2 máx. puede ser determinante para el rendimiento.
- 20.** Justifica la relación entre la eficiencia anaeróbica y la capacidad de tolerancia láctica.
- 21.** Explica la relación entre la eficiencia aeróbica-anaeróbica y la capacidad de tolerancia láctica.
- 22.** Justifica si dos deportistas que tienen su U_{an} a un 90% del VO_2 máx. presentan la misma capacidad de rendimiento.
- 23.** Indica si un deportista que tiene su eficiencia aeróbica-anaeróbica a un 90% del VO_2 máx. posee mejor capacidad de rendimiento que otro deportista que la tiene a un 78%.
- 24.** Diseña un gráfico comparativo relacionando cómo evolucionará la concentración de lactato durante la aplicación de un método fraccionado a intensidad elevada y moderada.
- 25.** Indica un método de entrenamiento para desarrollar la tolerancia a concentraciones de lactato altas exigiendo un requerimiento energético elevado.
- 26.** Indica un método de entrenamiento para desarrollar la tolerancia a concentraciones de lactato altas exigiendo un requerimiento energético relativamente bajo.
- 27.** Diseña varios entrenamientos modelados para un esfuerzo continuo de 4 min.
- 28.** Diseña un entrenamiento para desarrollar el metabolismo lipídico
- 29.** Señala dos factores de rendimiento para un esfuerzo máximo continuo de 4 min y establece métodos de entrenamiento que permitan desarrollarlos.
- 30.** Indica, para un deportista con un máximo rendimiento de 2 min y 35

seg en recorrer la distancia de 1.000 m, el tiempo de paso a los 400 m si quieres que trabaje un método fraccionado de intensidad elevada con repeticiones de 1.000 m.

- 31.** Justifica las limitaciones científicas de la metodología de entrenamiento más adecuada para desarrollar un determinado esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad constante.
- 32.** Explica la necesidad de utilizar métodos fraccionados para optimizar el rendimiento de los esfuerzos máximos continuos de corta y media duración.
- 33.** Establece las principales diferencias en los componentes del entrenamiento entre un método fraccionado practicado a intensidad elevada y un método fraccionado practicado a intensidad moderada.
- 34.** Indica los métodos de entrenamiento apropiados para desarrollar el nivel de entrenamiento facilitado de un determinado esfuerzo máximo continuo.
- 35.** Señala los métodos de entrenamiento apropiados para desarrollar el nivel de entrenamiento específico de un determinado esfuerzo máximo continuo.
- 36.** Indica los métodos de entrenamiento apropiados para desarrollar el nivel de entrenamiento dificultado de un determinado esfuerzo máximo continuo.
- 37.** Señala los métodos de entrenamiento apropiados para desarrollar los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de un esfuerzo máximo continuo de una duración de 2 min.
- 38.** Indica un método de entrenamiento apropiado para desarrollar la potencia anaeróbica láctica y la potencia aeróbica.
- 39.** Señala un método de entrenamiento apropiado para desarrollar la eficiencia anaeróbica, la eficiencia aeróbica-anaeróbica, y la eficiencia aeróbica.
- 40.** Indica un método de entrenamiento apropiado para desarrollar la cinética del VO_2 , la capacidad aeróbica glucolítica y la tolerancia a una concentración alta de lactato.
- 41.** Establece la relación entre los factores de rendimiento específicos y los métodos de entrenamiento de un esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad elevada de una duración de 2 min, 30 min y 3

h.

Resistencia en los esfuerzos continuos de intensidad variable

Alejandro Legaz-Arrese, Diego Munguía Izquierdo

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las causas por las que habitualmente todos los esfuerzos continuos se ejecutan a intensidad variable.
- Conocer la estrategia de variación de intensidad que caracteriza habitualmente los esfuerzos máximos continuos de distinta duración.
- Comprender la importancia de conocer las variaciones habituales de intensidad que caracteriza los distintos esfuerzos máximos continuos para establecer una metodología de entrenamiento contextualizada.
- Conocer los métodos utilizados para determinar las zonas metabólicas requeridas en esfuerzos ejecutados a intensidad variable.
- Conocer las diferencias en la metodología de entrenamiento de un esfuerzo ejecutado a intensidad constante y variable.
- Diseñar, a partir de los ejemplos de referencia establecidos para competiciones de 1.500 y 10.000 m en atletismo, ciclismo de ruta y competiciones de BTT, programas de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia requerida en las distintas modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de un esfuerzo a intensidad variable.

Índice

- 3.1. Resistencia en los esfuerzos máximos continuos de intensidad constante ejecutados a intensidad variable
 - Análisis metabólico
 - Factores de rendimiento
 - Metodología del entrenamiento
- 3.2. Resistencia en los esfuerzos no máximos continuos de intensidad variable (p. ej., ciclismo de ruta)
 - Análisis metabólico

Factores de rendimiento
Metodología del entrenamiento
3.3. Resistencia en los esfuerzos máximos continuos de intensidad variable (p. ej.,
competiciones de BTT)
Análisis metabólico
Factores de rendimiento
Metodología del entrenamiento
Síntesis
Cuestionario de asimilación

El objetivo de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante es realizar el menor tiempo posible para la distancia de la prueba, o la mayor velocidad posible para una duración de esfuerzo determinada. Estos esfuerzos, al desarrollarse a una velocidad relativamente constante, han podido ser situados en función de la duración de la competición en una determinada zona metabólica. En los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable, lógicamente la competición se desarrolla en distintas zonas metabólicas. Por este motivo, este tipo de esfuerzos requiere un análisis específico para determinar la variabilidad de las zonas metabólicas que van a estar asociadas a una diferenciación en los factores de rendimiento y, consiguientemente, a una metodología de entrenamiento diferenciada. Existe una gran variedad de modalidades deportivas caracterizadas por una variación de la intensidad en el desarrollo de la competición. Las modificaciones de la intensidad están determinadas básicamente por la orografía del terreno de competición, por la regulación táctica del esfuerzo y por las demandas de diferentes situaciones de competición. Inicialmente, analizamos la modificación de intensidad en los esfuerzos que por la orografía pueden realmente desarrollarse a una velocidad constante. Posteriormente, analizamos la variación de intensidad en esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable, que habitualmente no se realizan a la máxima intensidad posible. Por último, analizamos la variación de intensidad en esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable, que habitualmente se realizan a la máxima intensidad posible. Para cada una de estas tres situaciones de variación de intensidad, se analizan modalidades deportivas concretas con el fin de alcanzar una mejor comprensión de las modificaciones de las zonas metabólicas, de los factores de rendimiento y de la metodología de entrenamiento.

3.1. Resistencia en los esfuerzos máximos continuos de intensidad constante ejecutados a intensidad variable

Análisis metabólico

Realmente, cabe considerar que ninguna modalidad deportiva se ejecuta a una intensidad constante. En los esfuerzos máximos continuos, supuestamente la ejecución a intensidad constante puede considerarse más eficiente. Sin embargo, en el trabajo de revisión realizado por Tucker y Noakes (2009) se establece que generalmente en todas las pruebas de una **duración inferior a 4 min** la estrategia utilizada por los deportistas determina una elevada velocidad inicial que disminuye progresivamente en el transcurso de la competición. En cambio, en los esfuerzos de una **duración superior a 4 min** la intensidad más elevada corresponde a las partes inicial y final de la prueba. Como ejemplo de los esfuerzos inferiores a 4 min, se muestra en la figura 4.69 un análisis de la variación de intensidad durante la consecución de los récords del mundo de 800 m de atletismo (Tucker *et al.*, 2006). Como ejemplo de los esfuerzos de una duración superior a 4 min, se representa en la figura 4.70 un análisis de la variación de intensidad durante la consecución de los récords del mundo de una milla en atletismo (Tucker y Noakes, 2009). Para un análisis específico de otras modalidades deportivas, recomendamos la lectura del trabajo de revisión realizado por Abbis y Lausen (2008).

Este tipo de análisis, asociado a la consecución de los récords del mundo, puede diferir significativamente de la variación de intensidad en las mismas pruebas en competiciones en las que es más importante la clasificación que el tiempo en recorrer la distancia. Este tipo de condicionantes deben servir de referencia para futuras investigaciones. Independientemente de las variaciones de intensidad establecidas para las distintas pruebas en la literatura científica, el entrenador ha de considerar el **contexto de competición** de sus deportistas, analizando las variaciones habituales de intensidad asociadas al tipo de competición y a las características de los rivales.

Este análisis general demuestra que en los **esfuerzos máximos continuos**, analizados previamente como si la intensidad en la competición fuese constante, realmente existe una **variación de intensidad** que lógicamente determina **variaciones significativas en el análisis metabólico**. La posibilidad de determinar el VO_2 en pruebas de campo que simulan la competición ha permitido un análisis más específico del metabolismo en estas pruebas. Así, aunque se ha establecido teóricamente que en los esfuerzos de una duración de 40-60 seg a 6 min los deportistas pueden desarrollar su VO_2 máx., en la figura 4.71a se muestra una disminución

significativa del VO_2 en la parte final de una prueba de 800 m en atletismo (~ 1 min y 45 seg) (Thomas *et al.*, 2005). Aunque la explicación de este fenómeno no está clara, es probable que el descenso de los valores de VO_2 en la parte final de la prueba sea consecuencia de la fatiga del deportista. De hecho, se muestra en este estudio una disminución significativa de la velocidad de desplazamiento durante el desarrollo del esfuerzo. De acuerdo con los autores, probablemente la acidosis metabólica asociada a una elevada intensidad en la primera parte de la prueba ha perjudicado el metabolismo aeróbico y causado la disminución de la velocidad de desplazamiento. Resulta interesante observar que la evolución del VO_2 en este estudio difiere claramente entre los deportistas. Así, éstos difieren en el tiempo en alcanzar su VO_2 máx., en el tiempo en que mantienen el VO_2 máx. y en el grado de disminución del VO_2 en la parte final de la prueba (4.71b). Aunque los autores no aportaron datos específicos que permitieran establecer las causas de estas diferencias metabólicas entre deportistas, es probable que se debieran a diferencias en el perfil fisiológico y en la **estrategia utilizada para recorrer la distancia de competición**. De hecho, se ha demostrado una mejor cinética del VO_2 en deportistas más entrenados (Bosquet *et al.*, 2007). La relación entre la estrategia de carrera y la evolución del VO_2 se ha evidenciado recientemente en una competición simulada de 1.500 m en atletismo (Hanon *et al.*, 2008) (figura 4.72). Se puede apreciar que en la competición simulada “A”, caracterizada por una mayor velocidad en la primera parte de la prueba, se evidencia ligeramente una mejor cinética del VO_2 y un menor tiempo para alcanzar el VO_2 máx. Como consecuencia de la mayor velocidad inicial, en la parte final de la prueba se observa una disminución de la intensidad del esfuerzo asociada a una disminución del VO_2 . En la competición simulada “B”, como consecuencia de la menor velocidad inicial, se manifiesta el VO_2 máx. más tarde, pero en la parte final de la prueba se incrementa la velocidad de desplazamiento, observándose incluso un aumento de los valores del VO_2 .

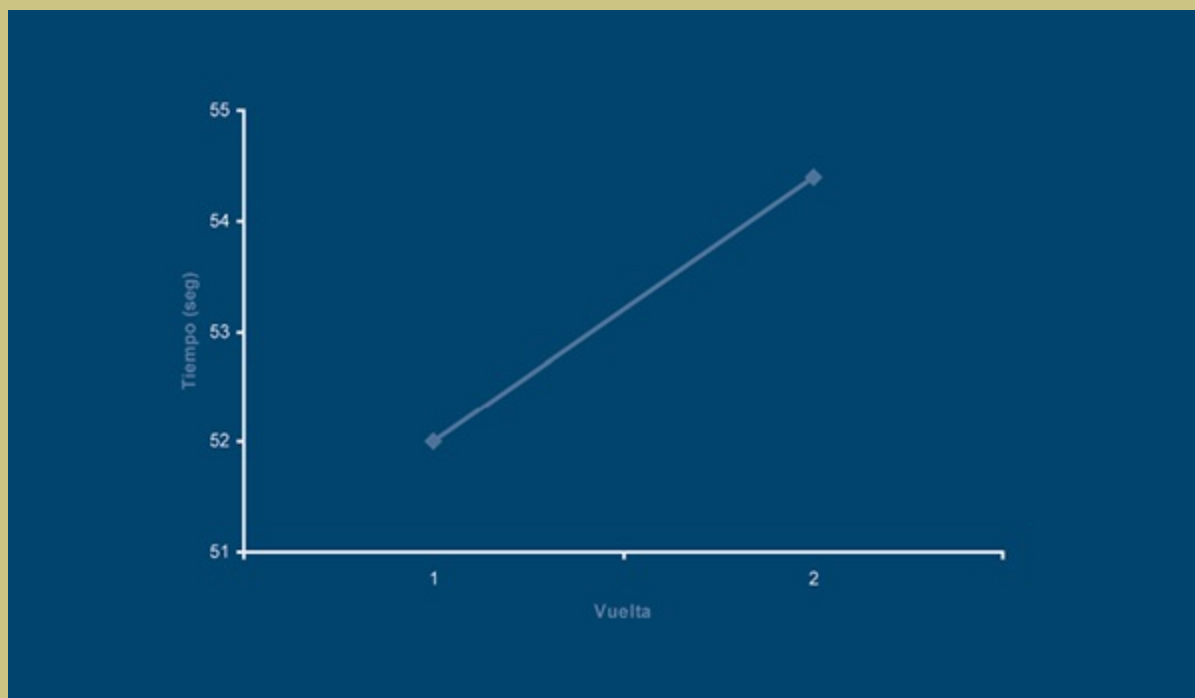


FIGURA 4.69. Variación de intensidad en 26 récords del mundo de 800 m en atletismo. El tiempo invertido en recorrer los primeros 400 m es significativamente inferior al tiempo requerido en la segunda parte de la prueba.

Adaptado de Tucker R et al. Int J Sports Physiol Perform 2006;1:233-45.

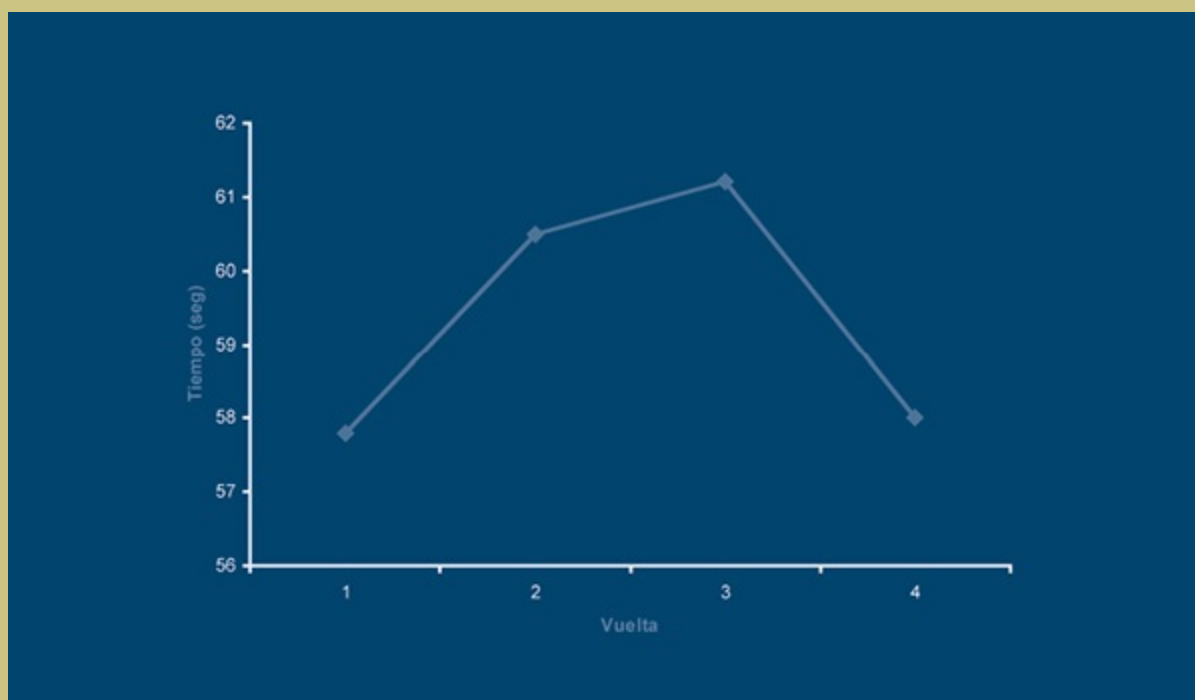


FIGURA 4.70. Variación de intensidad en 32 récords del mundo de 1 milla en atletismo. La mayor velocidad está asociada a la primera y última vueltas.

Adaptado de Noakes TD et al. Br J Sports Med 2009;43:760-4.

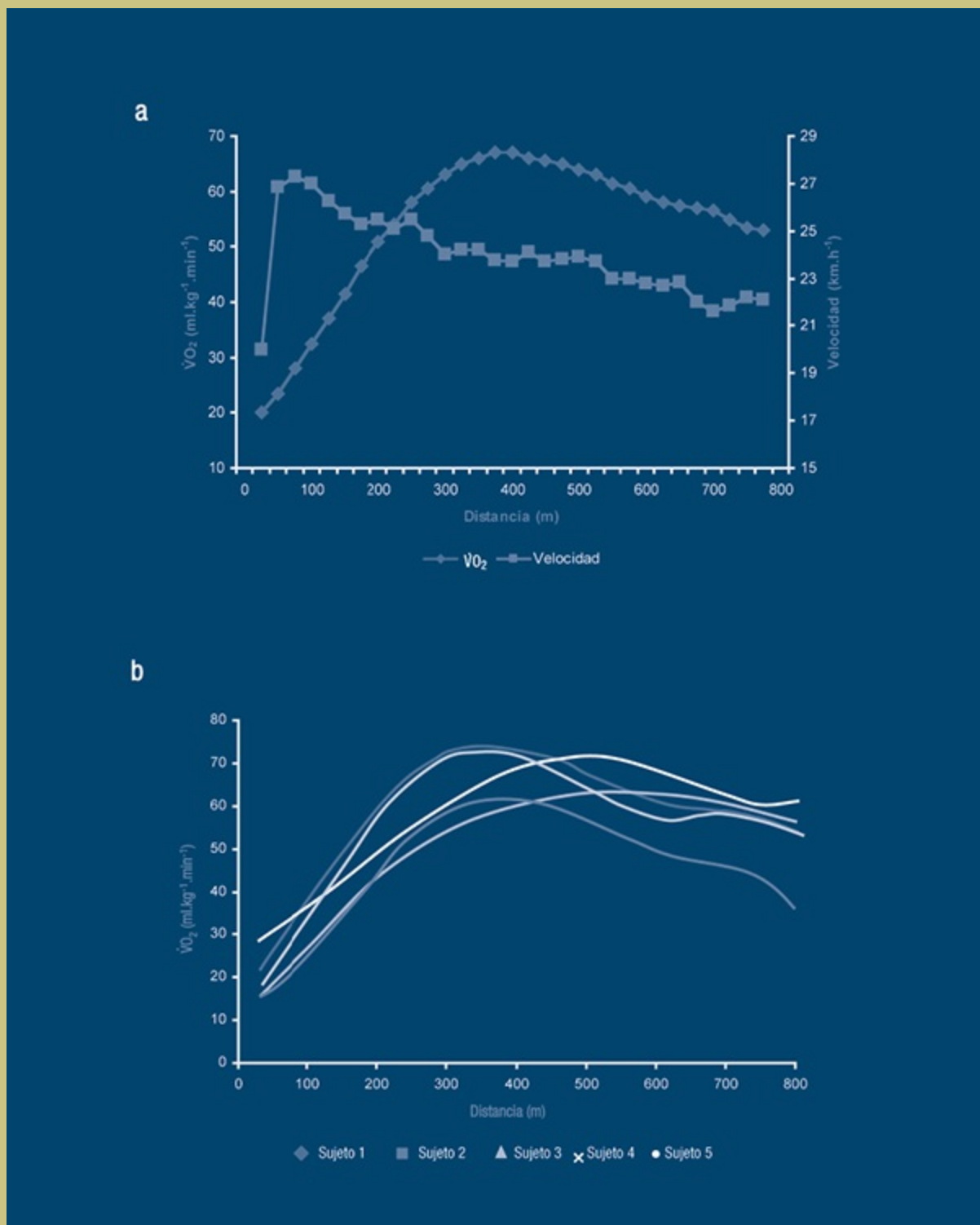


FIGURA 4.71. Evolución del $\dot{V}O_2$ durante una competición simulada de 800 m en atletismo: (a) promedio del grupo y (b) datos individuales. Obsérvese primero la estrategia tradicionalmente utilizada para recorrer una distancia de 800 m en atletismo.

Una vez alcanzado el $\dot{V}O_2$ máx., los deportistas, probablemente como consecuencia del elevado ritmo inicial, no pueden mantener en la parte final de la prueba. La cinética del $\dot{V}O_2$, el $\dot{V}O_2$ máx. y el grado de disminución del $\dot{V}O_2$ en la parte final de la prueba difieren entre los deportistas, probablemente asociado a diferencias en el perfil fisiológico y en la estrategia de ritmo de carrera.

Adaptado de Thomas C et al. Int J Sports Med 2005;26:268-73.

Así pues, la estrategia habitualmente usada en **competiciones de corta duración (p. ej., 800 m en atletismo)** solicita un mayor requerimiento energético en la **parte inicial** de la prueba que debe ser satisfecho con una **mayor cinética del $\dot{V}O_2$** y con un **mayor porcentaje de eficiencia anaeróbica**. Por tanto, los deportistas deben afrontar la **parte final** de la prueba con una **mayor concentración de lactato** inherente a una disminución de la velocidad de desplazamiento.

Para una mejor comprensión de la influencia que sobre el metabolismo pueden tener las diferentes estrategias usadas en **competiciones de media duración (p. ej., 1.500 m en atletismo)**, se establece en las figuras 4.73 y 4.74 un análisis teórico de las diferencias metabólicas que probablemente se observaron en un deportista que compitió en dos carreras de 1.500 m de atletismo (~3 min y 40 seg), ejecutadas, respectivamente, a una intensidad relativamente constante y a una intensidad variable caracterizada por un elevado incremento de la velocidad en la parte final del esfuerzo.

Tal y como se ha establecido en el análisis teórico para esta duración de esfuerzo, la velocidad promedio de competición fue ligeramente superior a la VAM del deportista. Sin embargo, cuando la competición fue ejecutada a intensidad variable, la velocidad en la parte final de la prueba fue muy superior a la VAM. Esto determina que relativamente se demanda menor energía en la parte inicial del esfuerzo, fundamentalmente asociada a la contribución del metabolismo anaeróbico láctico, mientras que en la parte final se requiere, además del $\dot{V}O_2$ máx. del deportista, una gran cantidad de energía por unidad de tiempo por vía láctica.

Este tipo de estrategia es adecuada para deportistas con relativamente menor $\dot{V}O_2$ máx. y elevada potencia y eficiencia anaeróbica. En cambio, durante la ejecución de la prueba a intensidad relativamente constante, un deportista con deficiente $\dot{V}O_2$ máx. requiere mayor contribución del metabolismo anaeróbico asociado a una elevada concentración de lactato para desarrollar la misma velocidad de competición que otro deportista, y, como

consecuencia, tendrá que afrontar la parte final de la competición con mayor acidez metabólica que otro deportista con elevado VO_2 máx., lo que difícilmente le permitirá desarrollar su potencial anaeróbico. Globalmente, este análisis determina que un esfuerzo que a velocidad constante se desarrolla en la intensidad baja de la zona de eficiencia anaeróbica se desarrolle a intensidad variable en la **intensidad más baja y más alta de eficiencia anaeróbica**, respectivamente, para las partes inicial y final de la prueba.

En **competiciones de larga duración** (p. ej., **10.000 m en atletismo**), aunque también existe una variación en la intensidad del esfuerzo, su implicación sobre el metabolismo es de menor magnitud que la especificada en pruebas de media duración. Como ejemplo, se representa en la figura 4.75 un análisis teórico del requerimiento energético asociado a la evolución de la velocidad desarrollada por un deportista en una carrera de 10.000 m (~ 27 min) ejecutada con un marcado incremento de velocidad en la parte final de la prueba. Tal y como se ha establecido en el análisis teórico para esta duración del esfuerzo, la velocidad promedio de competición fue ligeramente inferior a la VAM del deportista. Se observa en este ejemplo un incremento progresivo de la intensidad en los dos últimos kilómetros, cuando todavía faltan 5-6 min para finalizar la competición.

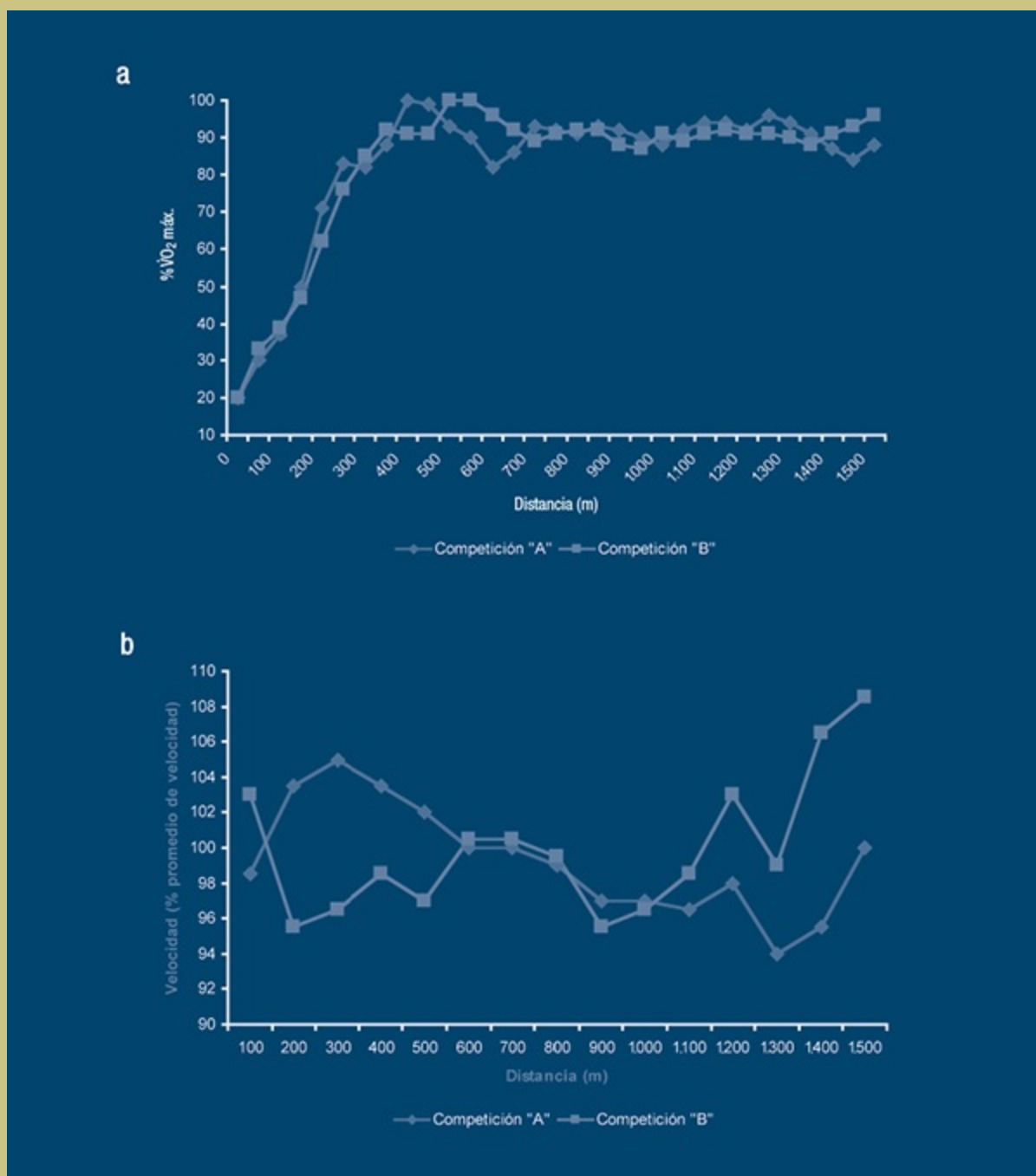


FIGURA 4.72. Evolución del VO₂ (a) según la estrategia utilizada (b) por un deportista en dos competencias simuladas de 1.500 m en atletismo. La diferencia de estrategia en el ritmo de carrera se asocia con la cinética del . VO₂ y con la evolución del . VO₂ en la parte final del esfuerzo.

Adaptado de Hanon C et al. Int J Sports Med 2008;29:206-11.

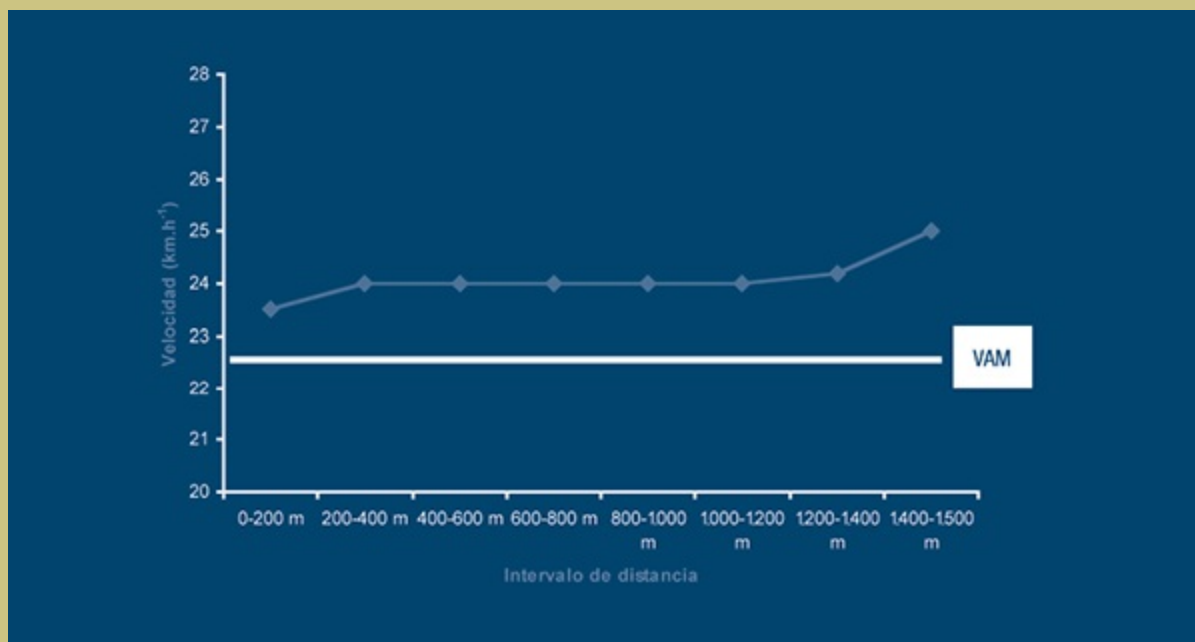


FIGURA 4.73. Análisis del metabolismo de una prueba de 1.500 m de atletismo ejecutada a una velocidad relativamente constante. La utilización de una estrategia a ritmo relativamente constante determina el mantenimiento de la misma zona metabólica durante la competición.

Original de los autores con datos oficiales.

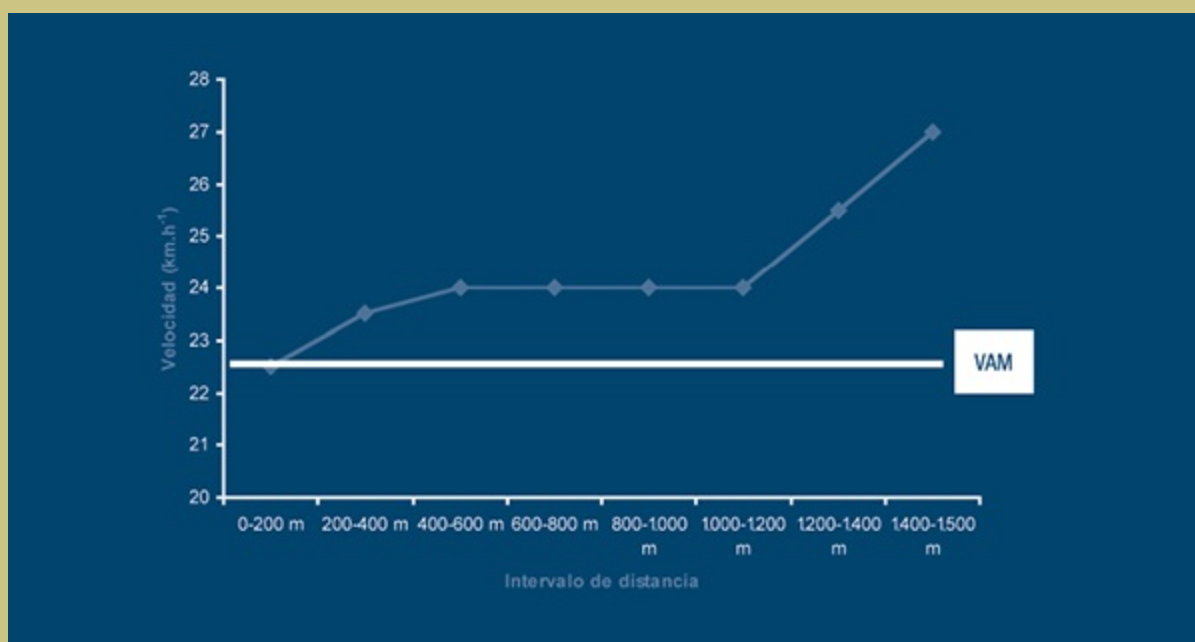


FIGURA 4.74. Análisis del metabolismo de una prueba de 1.500 m de atletismo ejecutada con un marcado incremento de velocidad en la parte final del esfuerzo. La utilización de una estrategia de estas características determina que el deportista desarrolle el esfuerzo a intensidades muy diferentes, en este caso de la zona de eficiencia anaeróbica.

Original de los autores con datos oficiales.

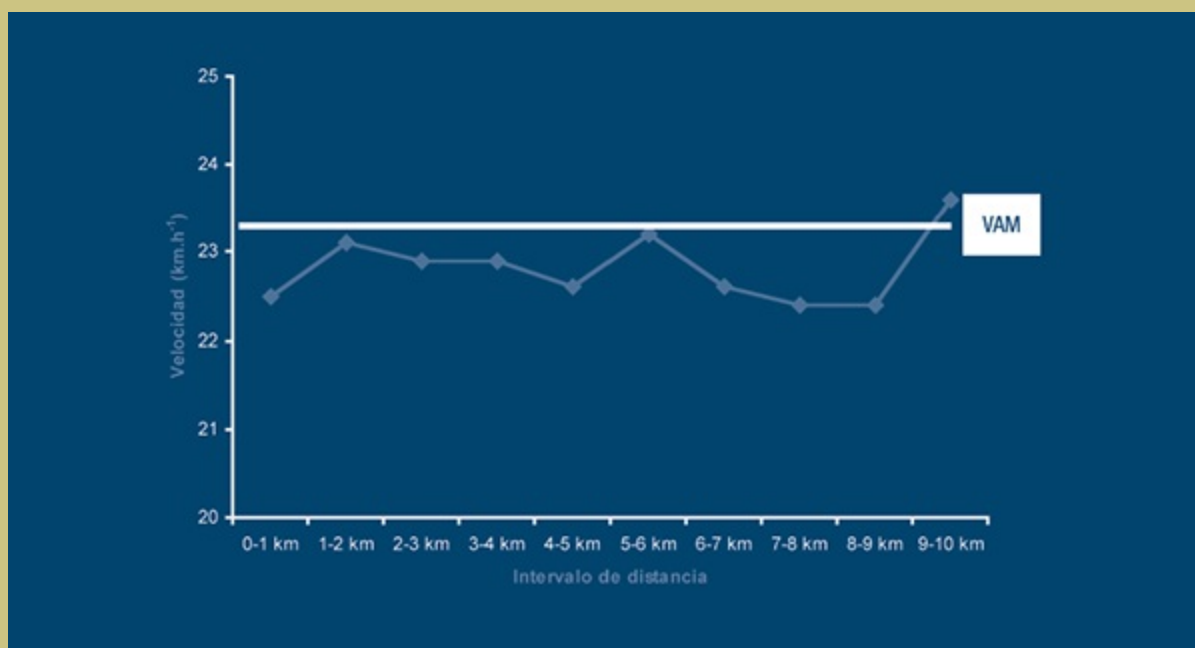


FIGURA 4.75. Análisis del metabolismo de una prueba de 10.000 m de atletismo ejecutada con un marcado incremento de velocidad en la parte final del esfuerzo. En esfuerzos de larga duración es habitual un incremento de intensidad de más larga duración, lo que determina pequeñas modificaciones en la zona metabólica de trabajo.

Original de los autores con datos oficiales.

Lógicamente, una variación de intensidad durante un período más prolongado determina una menor magnitud de variación de forma obligada. En este caso difícilmente un deportista va a desplazarse, al menos durante un tiempo relativamente prolongado, a una intensidad significativamente superior a la VAM de forma significativa. Así, en general, en esfuerzos de esta duración la variación en la intensidad es menos significativa que en pruebas disputadas a una velocidad superior a la VAM. Por tanto, en pruebas de larga duración desarrolladas en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica las variaciones de intensidad suelen estar asociadas a un **incremento de la intensidad en la misma zona metabólica**. Lógicamente, la magnitud de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

variación de la intensidad es todavía menor cuanto mayor es la duración de la competición.

Además de la duración del esfuerzo, la variación de intensidad está influida por la **interferencia o no de los rivales**. Por ejemplo, en las carreras de atletismo la variación de intensidad está determinada por la propia regulación del esfuerzo del deportista en función de la estrategia de competición y por la influencia de las variaciones de intensidad realizadas por los rivales. En cambio, en pruebas cronometradas de ciclismo, la variación de intensidad únicamente la determina la propia regulación del esfuerzo del deportista. Un claro ejemplo es la escasa variación de velocidad observada en el récord de la hora establecido por Miguel Indurain (Padilla *et al.*, 2000b) (figura 4.76).

Factores de rendimiento

La modificación de los **factores de rendimiento** asociados a la ejecución de un esfuerzo máximo continuo a intensidad variable está determinada por las **variaciones metabólicas** descritas sobre la base de la estrategia habitualmente utilizada por los deportistas según la duración del esfuerzo.

En las **competiciones de corta duración** (p. ej., **800 m en atletismo**), al ser habitual una mayor velocidad de desplazamiento en la parte inicial de la competición, se requiere por ejemplo para una carrera de 800 m, un mayor énfasis en la mejora de la **cinética del VO_2** , así como el desarrollo de la capacidad para afrontar la parte final de la competición debiendo **tolerar una mayor concentración de lactato**.

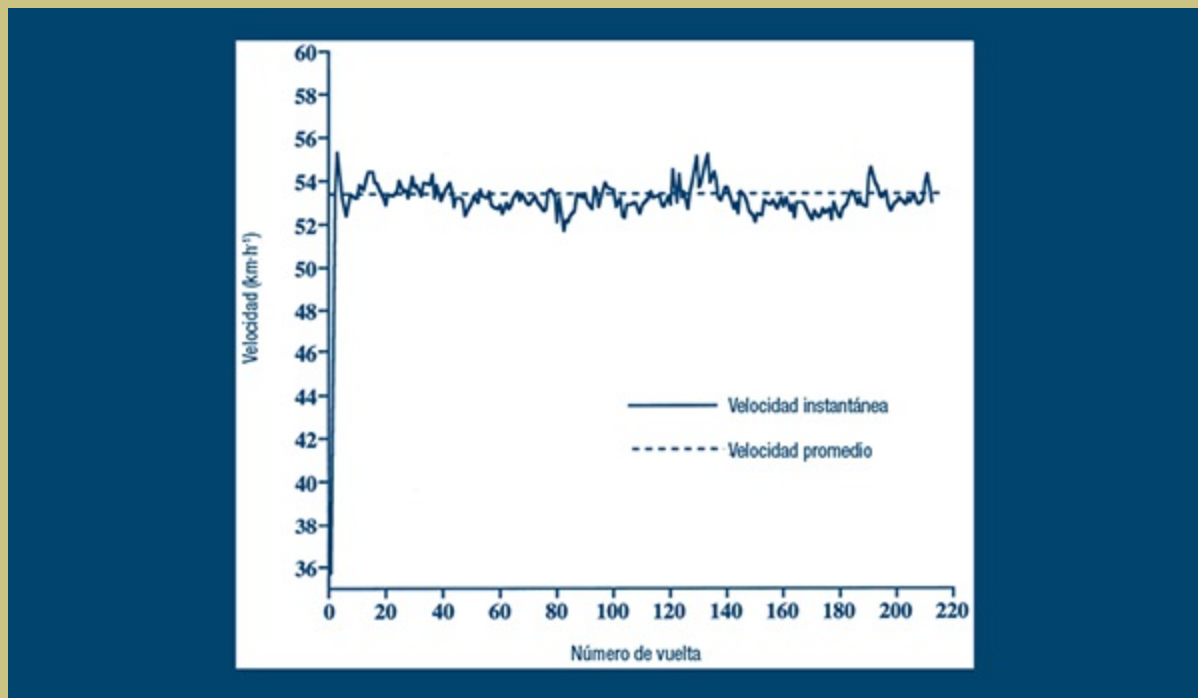


FIGURA 4.76. Variación de la velocidad de desplazamiento durante el récord de la hora en ciclismo establecido por Miguel Indurain. En un esfuerzo de larga duración sin interferencia de otros competidores, la intensidad se mantiene relativamente constante toda la competición.

Reproducido, con permiso, de Padilla S et al. J Appl Physiol 2000b;89:1522-7.

En **competiciones de media duración** (p. ej., 1.500 m en atletismo) es habitual un marcado incremento de la velocidad de desplazamiento en la parte final de la competición. Como ejemplo, se muestra en la tabla 4.29 los distintos niveles de entrenamiento asociados a la resistencia de una carrera de 1.500 m en atletismo desarrollada a intensidad variable. La base del entrenamiento debe ser la misma que la especificada para un esfuerzo máximo continuo de intensidad constante de una duración comprendida entre 2 y 6 min, el desarrollo de la intensidad baja de la zona de eficiencia anaeróbica y de sus factores de rendimiento asociados. Sin embargo, debido a la menor intensidad en la primera parte de la prueba, adquiere relativamente **menor importancia la cinética del $\dot{V}O_2$** . Debido a la mayor intensidad en la parte final de la prueba, se debe incidir en el desarrollo específico de la zona de **intensidad elevada de eficiencia anaeróbica**, que se asocia a una mayor importancia de la capacidad anaeróbica aláctica y a una mayor velocidad de

resíntesis del ATP por vía anaeróbica láctica. Hay que considerar, sin embargo, que en competición se incide en esta zona metabólica en situación de fatiga previa. Esto cambia también las características de la tolerancia láctica. En un esfuerzo realizado a intensidad constante se requiere tolerar una concentración de lactato ligeramente inferior con menor requerimiento energético, mientras que en un esfuerzo realizado a intensidad variable se requiere **tolerar mayor concentración de lactato** asociada a un mayor requerimiento energético por unidad de tiempo, pero con una duración del esfuerzo significativamente inferior. Al desplazarse el nivel de entrenamiento específico a una intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica, lógicamente aumenta también la intensidad del nivel de entrenamiento dificultado. Asimismo, adquiere mayor importancia el desarrollo de la **potencia anaeróbica láctica** como límite fisiológico de la zona de eficiencia anaeróbica.

TABLA 4.29. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de una prueba de 1.500 m de atletismo desarrollada con un marcado incremento de la velocidad en la parte final de la competición

Límites fisiológicos

Potencia anaeróbica láctica
VO₂ máx. y VAM

Zona metabólica específica

Factores de rendimiento

Intensidad baja de eficiencia anaeróbica

- Tolerancia al lactato a concentración media-alta
- Cinética del VO₂
- VO₂ máx. y VAM
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

En condiciones de fatiga

Intensidad alta de eficiencia anaeróbica

- Capacidad anaeróbica aláctica
- Tolerancia al lactato a concentración muy alta
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

Nivel dificultado

Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-30 seg)
Mayor exigencia en la magnitud y/o aplicación de fuerza

Nivel facilitado

Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (4-6 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior

Original de los autores.

En **competiciones de larga duración** (p. ej., **10.000 m en atletismo**) se establecen como ejemplo en la tabla 4.30 los distintos niveles de entrenamiento asociados a la resistencia de una carrera de 10.000 m en atletismo desarrollada con un marcado incremento de la velocidad en la parte final de la competición. Esta duración del esfuerzo se desarrolla a velocidad constante en la intensidad media-alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica. La ejecución a intensidad variable implica que en los últimos minutos del esfuerzo se desarrolle específicamente la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**, e incluso la **intensidad más baja de eficiencia anaeróbica**. Esto implica básicamente una importancia todavía mayor del **VO₂ máx.** y la **VAM**, y la necesidad de **tolerancia láctica a una concentración mayor** con un requerimiento energético significativamente superior. A su vez, aumenta la intensidad de la zona metabólica asociada al

nivel de entrenamiento dificultado.

Metodología del entrenamiento

La metodología de entrenamiento de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad variable debe considerar las variaciones en los factores de rendimiento establecidas previamente basándose en la estrategia habitualmente utilizada por los deportistas según la duración del esfuerzo.

Para las **competiciones de corta duración** (p. ej., 800 m en atletismo) se ha establecido que la mayor velocidad habitual en la parte inicial del esfuerzo determina la necesidad de un mayor énfasis en la mejora de la **cinética del $\dot{V}O_2$** . Con este objetivo se requiere la utilización del **método fraccionado practicado a intensidad elevada de corta duración** (~ 20-60 seg).

TABLA 4.30. Factores de rendimiento específicos asociados a la resistencia de una prueba de 10.000 m de atletismo desarrollada con un marcado incremento de la velocidad en la parte final de la competición

Límites fisiológicos

$\dot{V}O_2$ máx. y VAM

Zona metabólica específica

Intensidad media-alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica

Factores de rendimiento

- Tolerancia al lactato a concentración media-baja
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

En condiciones de fatiga

Intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica
e intensidad baja de eficiencia anaeróbica

- $\dot{V}O_2$ máx. y VAM
- Tolerancia al lactato a concentración media
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

Nivel dificultado

Intensidad baja y media de eficiencia anaeróbica (1-6 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o aplicación de fuerza

Nivel facilitado

Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica (30-60 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior

Original de los autores.

También se ha establecido la necesidad de desarrollar la capacidad para

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

afrontar la parte final de competición debiendo **tolerar una mayor concentración de lactato**. Este objetivo se debe desarrollar prioritariamente mediante **métodos fraccionados y continuos que simulen las variaciones de intensidad esperadas en la competición**.

Para las **competiciones de media duración** (p. ej., 1500 m en atletismo), se representan en la tabla 4.31 los métodos de entrenamiento para optimizar el rendimiento cuando en la competición se evidencia un marcado aumento de la velocidad en la parte final. Las modificaciones respecto a los métodos de aplicación para una carrera realizada a intensidad constante están determinadas por los nuevos niveles de entrenamiento establecidos. Básicamente esto implica la práctica de **métodos fraccionados aplicados a intensidad elevada con menor duración de las repeticiones** para incidir en el desarrollo de la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica** y sus factores de rendimiento asociados. Estos métodos fraccionados deben trabajarse sin fatiga y también con fatiga previa de un trabajo que incida en el desarrollo de intensidades más bajas de eficiencia anaeróbica. Lógicamente, los **métodos que simulan la competición** deben incidir en el trabajo con variación de la intensidad.

Otra modificación importante es incrementar la frecuencia de entrenamientos que incidan en los **métodos para el desarrollo de la potencia anaeróbica aláctica y láctica**. También son modificables los **métodos aplicados para el desarrollo de mayor magnitud y frecuencia de aplicación de fuerza**, acercándose sus características a las empleadas para los esfuerzos de menor duración. Se aplican también los **métodos fraccionados practicados a intensidad moderada con menor duración de las repeticiones** para incidir en un nivel de entrenamiento facilitado de tolerancia láctica con mayores concentraciones de lactato.

TABLA 4.31. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de una prueba de 1.500 m de atletismo desarrollada con un marcado incremento de la velocidad en la parte final de la competición

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Métodos</i>
Potencia anaeróbica láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
VO ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-3 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-alta – Cinética del VO₂ – VO₂ máx. y VAM – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (2-6 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
<i>En condiciones de fatiga</i>		
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a concentración muy alta – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (30-60 seg)*
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
<i>Nivel dificultado</i>		
Intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica (6-30 seg)		Fraccionado a intensidad elevada (6-30 seg)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (6-30 seg)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
<i>Nivel facilitado</i>		
Intensidad baja de eficiencia anaeróbica (4-6 min)		Fraccionado a intensidad elevada (4-6 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (15 seg-2 min)

* Métodos a trabajar sin fatiga y con trabajo previo en la intensidad media y baja de eficiencia anaeróbica.

Original de los autores.

Para **competiciones de larga duración** (p. ej., **10.000 m en atletismo**), se representan en la tabla 4.32 los métodos de entrenamiento para optimizar el rendimiento cuando en la competición se evidencia un marcado incremento de la velocidad en la parte final. Igualmente, las modificaciones respecto a los métodos de aplicación para una carrera realizada a intensidad constante están determinadas por los nuevos niveles de entrenamiento establecidos previamente.

TABLA 4.32. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia de una prueba de 10.000 m de atletismo desarrollada con un marcado incremento de la velocidad en la parte final de la competición

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx. y VAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Intensidad media-alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-baja – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)
		Continuo a intensidad elevada (20-40 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
En condiciones de fatiga		
Intensidad alta de eficiencia aeróbica-anaeróbica e intensidad baja de eficiencia anaeróbica	– VO ₂ máx. y VAM – Tolerancia al lactato a concentración media – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (2-15 min)*
Nivel dificultado		
Intensidad media y baja de eficiencia anaeróbica (1-6 min)		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
		Sobrecargas, resistidos y asistidos
Nivel facilitado		
Intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica (30-60 min)		Continuo a intensidad elevada (30-60 min)
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior		Fraccionado a intensidad moderada (1-15 min)

* Métodos a trabajar sin fatiga y con trabajo previo en la intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

Original de los autores.

Básicamente esto implica la aplicación del **método fraccionado de intensidad elevada y duración de 2 a 15 min** para incidir en el desarrollo de la **intensidad más elevada de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**, en el desarrollo del **Tlím a VAM** y en el de la **intensidad más baja de eficiencia anaeróbica**. Igualmente, este método fraccionado debe trabajarse sin fatiga y también con fatiga previa de un trabajo que incida en el desarrollo de intensidades medias de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Los **métodos que simulan la competición** deben adaptarse a las modificaciones de intensidad previstas. Son aplicables también los **métodos fraccionados de intensidad moderada con menor duración de las repeticiones** para incidir en un nivel

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de entrenamiento facilitado de tolerancia láctica con mayores concentraciones de lactato.

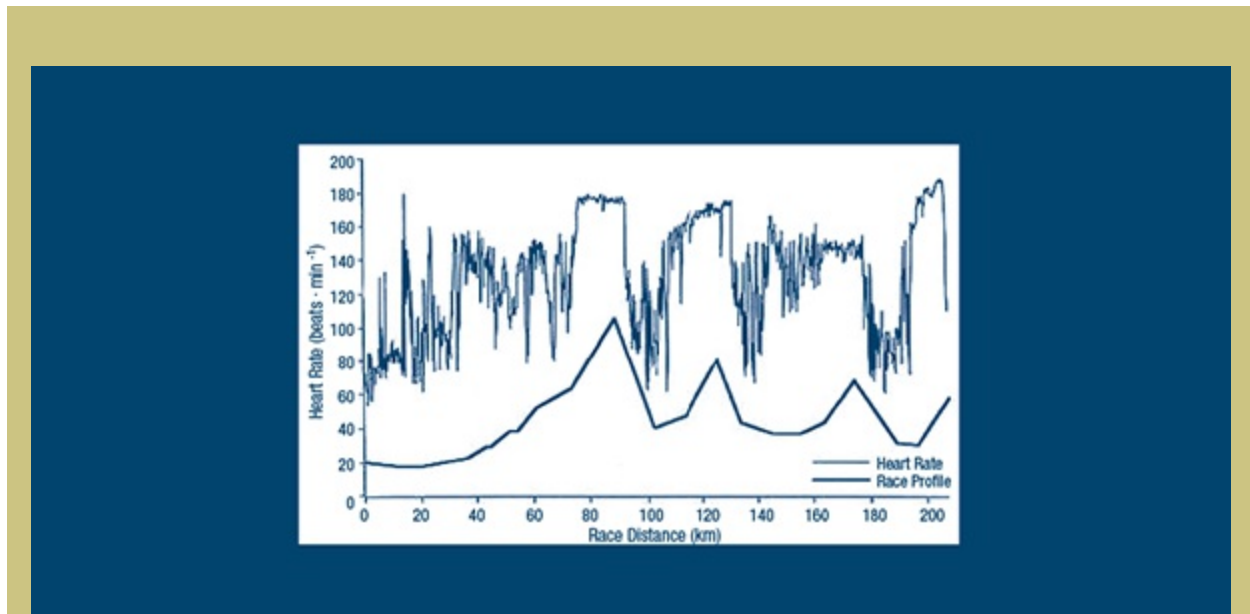


FIGURA 4.77. Ejemplo de variación de intensidad en ciclismo de ruta debido a la orografía. Obsérvese el incremento de la FC durante la ascensión de los puertos. *Heart Rate* = frecuencia cardíaca; *beats* = latidos; *Race Profile* = perfil de la carrera; *Race Distance* = distancia de carrera.

Reproducido, con permiso, de Padilla S et al. Med Sci Sports Exerc 2001;33:796-802.

3.2. Resistencia en los esfuerzos no máximos continuos de intensidad variable (p. ej., ciclismo de ruta)

Análisis metabólico

El **ciclismo de ruta** es el mejor ejemplo de los esfuerzos no máximos continuos ejecutados a intensidad variable. Consideramos que el ciclismo de ruta no es un esfuerzo máximo si consideramos que habitualmente el deportista no realiza el menor tiempo posible para la distancia establecida. La intensidad desarrollada depende de una combinación de factores como la orografía, la regulación táctica del esfuerzo y las demandas de la competición. Las competiciones de ciclismo de ruta se clasifican en carreras

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de un día y en pequeñas (4-10 días o etapas) y grandes vueltas (21-22 días o etapas). Aunque la orografía varía en cada una de las etapas, éstas se clasifican en etapas llanas, de media montaña, de alta montaña y pruebas cronometradas. En función de la longitud, la pendiente, la situación en la etapa y la organización, los puertos se clasifican en categoría especial, 1ª, 2ª y 3ª categorías. El lector puede encontrar las características de varios años de la Vuelta a España y el Tour de Francia en el trabajo de Lucía *et al.*, (2003).

La **variación de intensidad en el ciclismo de ruta** puede estar asociada a la **orografía**. Así, como se observa en la figura 4.77, es habitual una potencia y una FC mayores en la ascensión de los puertos de montaña. Pero las principales variaciones de intensidad están asociadas a la **regulación táctica del esfuerzo** y a las **demandas de la competición**. Como ejemplo, se muestra en la figura 4.78 que en el transcurso de una etapa llana aumentan significativamente la potencia y la FC desarrollada en la parte final, probablemente asociado a la demanda de competición establecida, por ejemplo, por un incremento de la intensidad para poder alcanzar a ciclistas escapados y la consiguiente preparación del esprín. Una mayor intensidad en el ciclismo de ruta suele estar asociada a los finales de etapa, a los ciclistas mejor clasificados y a los ciclistas escapados. Así, la intensidad relativa de un puerto es habitualmente menor si éste está situado al inicio o al final de la etapa, e incluso la intensidad de un puerto de menor categoría puede ser mayor en función de las circunstancias de la competición. Los ciclistas escapados, como consecuencia de la influencia de la aerodinámica, han de desarrollar mayor intensidad relativa que los ciclistas agrupados en “pelotón” para moverse a una misma velocidad de desplazamiento. Según la regulación táctica del esfuerzo, un ciclista puede realizar una menor intensidad de esfuerzo en la parte final de la etapa con el objetivo de estar más descansado para afrontar las siguientes etapas con mayores posibilidades de éxito. Conforme a este análisis, las zonas metabólicas sobre las que se desarrolla una etapa de ciclismo de ruta son muy variables y dependientes de numerosos factores.

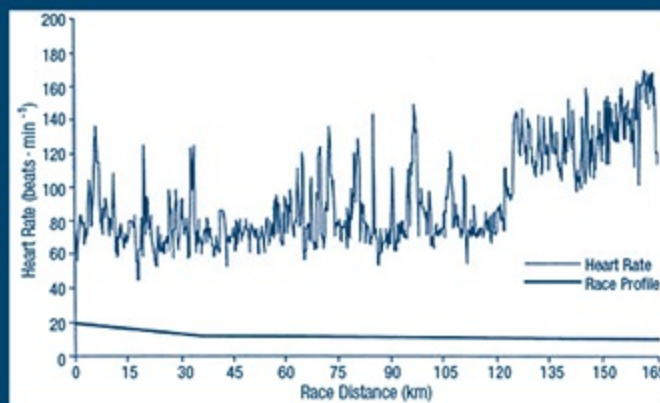


FIGURA 4.78. Ejemplo de variación de intensidad en ciclismo de ruta debido a las demandas de la competición. La FC aumenta en la parte final de la etapa. *Heart Rate* = frecuencia cardíaca; *Race Profile* = perfil de la carrera; *Race Distance* = distancia de carrera; *Beats* = latidos

Reproducido, con permiso, de Padilla S et al. Med Sci Sports Exerc 2001;33:796-802.

El promedio de duración del esfuerzo de las 18 etapas disputadas en el Tour de Francia de 2007, excluyendo las pruebas cronometradas, fue 4 h y 53 min (límites: 3 h y 47 min-6 h y 23 min). Obligatoriamente, esta duración del esfuerzo determina que la mayor parte de la competición se desarrolla en la zona más baja de eficiencia aeróbica. Sin embargo, atendiendo a las variaciones de intensidad especificadas, un análisis basado exclusivamente en la duración del esfuerzo resulta insuficiente.

Numerosos estudios han estimado el **metabolismo del ciclismo en ruta** sobre la base del establecimiento en una prueba de esfuerzo de distintas zonas de intensidad asociadas con el Uae y/o Uan (véase la figura 4.41). Como ejemplo, en la tabla 4.33 se representan tres zonas de intensidad para dos ciclistas profesionales en función de la FC y potencia asociadas a una concentración fija de lactato de 2 y 4 mmol·l⁻¹. Trasladando estos **datos de la FC y/o potencia determinados en el laboratorio** a los valores de la FC y/o potencia observados en el transcurso de la competición, se establece el porcentaje de tiempo que los ciclistas trabajan en las distintas zonas de intensidad. En la figura 4.79 se representa el porcentaje de tiempo que un

grupo de ciclistas se ejercitó en el Tour de Francia y la Vuelta a España en tres zonas de intensidad establecidas según el modelo trifásico de umbrales ventilatorios (Lucía *et al.*, 2003): fase I (por debajo del VT1 o menor del 70% VO_2 máx.), fase II (entre el VT1 y VT2 ó 70-90% VO_2 máx.) y fase III (por encima del VT2 ó por encima del 90% VO_2 máx.). Según los conceptos establecidos en este manual, las fases I y II corresponden, respectivamente, a las zonas más baja y elevada de eficiencia aeróbica, y la fase III, a una intensidad superior al Uan. Como era previsible, **la mayor parte del tiempo** los deportistas realizaron el esfuerzo en la **zona de menor intensidad de eficiencia aeróbica**, siendo **escaso el porcentaje de tiempo a una intensidad superior al Uan**.

TABLA 4.33. Establecimiento de tres zonas de intensidad en función de la FC y la potencia desarrollada por dos ciclistas profesionales a una concentración de lactato de 2 y 4 mmol·l⁻¹

	FC (lat·min ⁻¹)		Potencia (W)	
	Sujeto "A"	Sujeto "B"	Sujeto "A"	Sujeto "B"
Zona I (< 2 mmol·l ⁻¹)	< 137	< 151	< 293	< 281
Zona II (2-4 mmol·l ⁻¹)	137-164	151-167	293-375	281-335
Zona III (> 4 mmol·l ⁻¹)	> 164	> 167	> 375	> 335

Original de los autores.

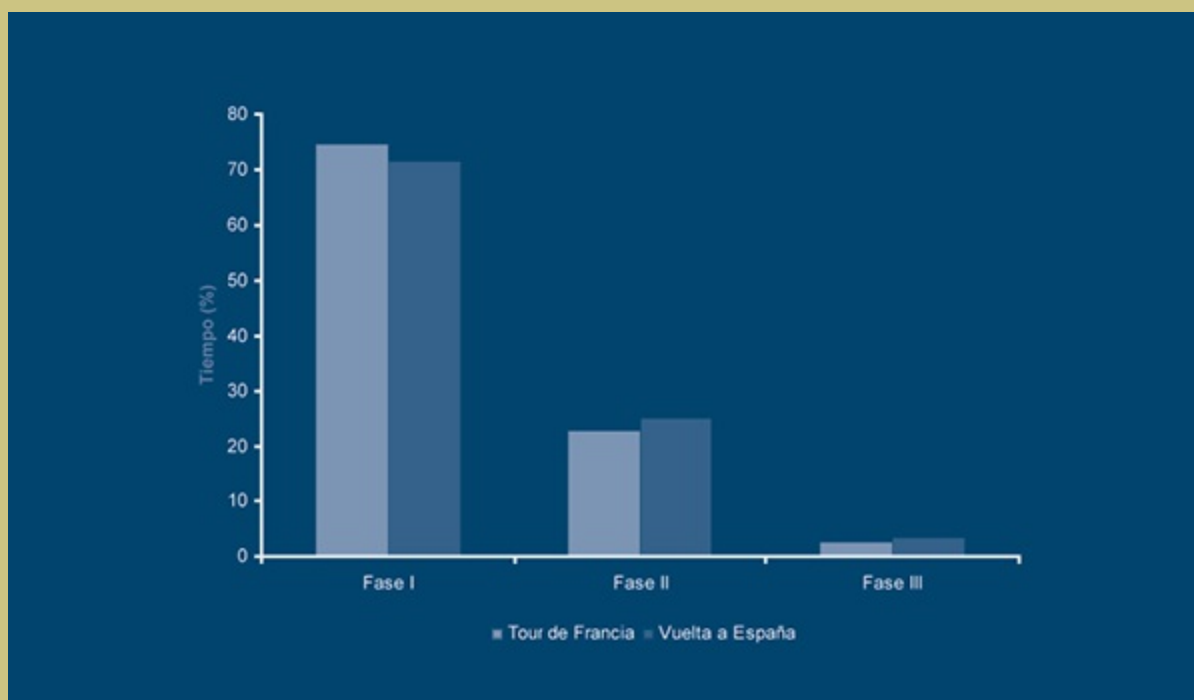


FIGURA 4.79. Porcentaje de tiempo que un grupo de ciclistas se ejercitó en distintas zonas de intensidad en la Vuelta a España y el Tour de Francia. La mayor parte del tiempo, los ciclistas realizan un esfuerzo a una intensidad inferior al Uan ventilatorio (fase I), siendo escaso el tiempo a una intensidad superior al Uan ventilatorio (fase III).

Adaptado de Lucia A et al. Med Sci Sports Exerc 2003;35:872-8.

En la tabla 4.34 se especifican los **distintos criterios** utilizados en algunos de los estudios que han determinado las **zonas de intensidad** del ciclismo de ruta. La FC asociada a las distintas zonas de intensidad difiere significativamente entre los estudios debido, además de a posibles variaciones asociadas al **nivel de los ciclistas**, a los distintos criterios utilizados para determinar los umbrales. Además, mientras que la mayoría de los estudios han establecido como variable de referencia la **FC**, Vogt *et al.*, (2006) establecieron también el análisis en función de los valores de **potencia** (figura 4.80). En este estudio se observó en el análisis de la FC que los ciclistas se desplazaron en la zona metabólica de menor intensidad únicamente un 38% del tiempo, muy inferior al 70-75% del tiempo establecido en el mencionado estudio de Lucía *et al.*, (2003). Lógicamente, esto determina un mayor porcentaje de tiempo en la zona de intensidad media y especialmente en la zona de mayor intensidad. Estas diferencias tan

importantes en el análisis metabólico entre ambos estudios pueden estar influidas por el menor número de etapas de la Vuelta analizadas por Vogt *et al.*, (2006) y por el nivel de los ciclistas. Pero es probable que gran parte de las diferencias puedan ser atribuidas al diferente método para determinar los umbrales. Así, la FC correspondiente a la zona de menor intensidad difiere marcadamente: $< 154 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$ en el estudio de Lucía *et al.*, (2003) y $< 137 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$ en el estudio de Vogt *et al.*, 2003. Globalmente, este análisis muestra que la interpretación de los resultados observados en los distintos estudios debe realizarse con prudencia. Lo más interesante del estudio de Vogt *et al.*, (2003) fueron las diferencias observadas en función del análisis mediante la FC o la potencia. Los resultados demuestran que el análisis mediante la FC sobreestima el porcentaje de tiempo realizado a intensidades medias y subestima el tiempo que el ciclista invierte en realizar un esfuerzo a intensidades bajas y elevadas. Los mecanismos reguladores del sistema cardiovascular son más lentos que los procesos metabólicos y no pueden adaptarse rápidamente a los cambios bruscos de potencia. De esta forma, mientras el ciclista en distintas fases de la competición disminuye drásticamente la potencia desarrollada e incluso deja de pedalear, la FC sigue manteniéndose elevada; del mismo modo, la FC no se incrementa en la misma medida en que se produce un incremento significativo de la potencia que se evidencia en las continuas aceleraciones. Además, hay que considerar la influencia que sobre los valores de la FC tiene la duración del esfuerzo, así como los procesos de deshidratación e hipertermia. Estos resultados invalidan parcialmente el análisis metabólico de los estudios que han utilizado la FC como variable de referencia.

TABLA 4.34. Criterios utilizados en distintos estudios para determinar las zonas de intensidad del ciclismo de ruta

	Zona I	Zona II	Zona III
Lucía <i>et al.</i> , 2003	< FCVT1 < 154 lat·min ⁻¹	FCVT1 ↔ FCVT2 154-173 lat·min ⁻¹	> FCVT2 > 173 lat·min ⁻¹
Rodríguez <i>et al.</i> , 2003	< FCVT1 < 138 lat·min ⁻¹	FCVT1 ↔ FCVT2 138-169 lat·min ⁻¹	> FCVT2 > 169 lat·min ⁻¹
Padilla <i>et al.</i> , 2001, 2000*	FCLT – 3 < 160 lat·min ⁻¹	FCLT ± 3 160-166 lat·min ⁻¹	> FCLT + 3 166 lat·min ⁻¹
Padilla <i>et al.</i> , 2001, 2000	< FCOBLA – 3 < 175 lat·min ⁻¹	FCOBLA ± 3 175-181 lat·min ⁻¹	> FCOBLA + 3 > 181 lat·min ⁻¹
Vogt <i>et al.</i> , 2006**	< FCLT < 137 lat·min ⁻¹ < WLT < 248 W	FCLT ↔ FCLT+1 mmol·l ⁻¹ 137-163 lat·min ⁻¹ WLT ↔ WLT+1mmol·l ⁻¹ 248-326 W	> FCLT + 1mmol·l ⁻¹ > 163 lat·min ⁻¹ > WLT + 1mmol·l ⁻¹ > 326 W

*LT: 1 mmol·l⁻¹ por encima del lactato basal al 40-60% VO₂ máx.; **LT: comienzo del incremento de la concentración de lactato.

Original de los autores.

Los investigadores han tenido por interés determinar las diferencias en el porcentaje de tiempo que los ciclistas desarrollan en distintas zonas de intensidad en función de las características de las etapas, de la categoría de los puertos y de la longitud de las pruebas cronometradas.

La FC promedio es ligeramente superior en las **etapas de media y alta montaña** que en las **etapas llanas** (Vogt *et al.*, 2007; Padilla *et al.*, 2001). Como consecuencia, mediante el análisis de la FC se evidencia en las etapas de montaña un incremento del tiempo en las zonas de media y alta intensidad (Padilla *et al.*, 2001). Sin embargo, el análisis de la potencia determina que en las etapas de media y alta montaña se incrementa el porcentaje de tiempo que el deportista desarrolla a potencias elevadas (300-500 W) y disminuye el porcentaje de tiempo a potencias muy elevadas (> 500 W) (Vogt *et al.*, 2007). Estos resultados nuevamente resaltan las limitaciones de la FC para el análisis de los esfuerzos ejecutados a intensidad variable.

La intensidad se incrementa considerablemente si se analiza exclusivamente el esfuerzo realizado por los ciclistas en la **ascensión de los puertos**. Este análisis es especialmente relevante debido a la importancia que tiene el rendimiento en dicha ascensión para el resultado global del ciclismo de ruta. Como se observa en la figura 4.81, la situación metabólica durante la ascensión de los puertos es completamente diferente a la observada en la

globalidad de una etapa, realizando los ciclistas, independientemente de la categoría de los puertos, la mayor parte del esfuerzo en la zona más elevada de eficiencia aeróbica (Rodríguez Marroyo *et al.*, 2003). Hay que considerar que en este estudio la fase II (intensidad entre el VT1 y VT2) estuvo comprendida en un intervalo muy amplio de FC ($138-169 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$), situándose la FC promedio en la ascensión de los puertos en la intensidad más elevada de esta zona metabólica ($153-160 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$), muy próxima a la FC VT2. Además de no observarse diferencias significativas en la intensidad en función de la categoría de los puertos, los autores indicaron que la FC promedio y el porcentaje de tiempo en la fase III fueron inferiores en los puertos situados al final de las etapas. En el estudio realizado por Padilla *et al.*, (2008), en relación con los datos aportados por Rodríguez Marroyo *et al.*, (2003), se evidencia que los ciclistas desarrollan en la ascensión de los puertos un mayor porcentaje de tiempo en la zona de mayor intensidad (figura 4.82). El bajo porcentaje de tiempo observado en este estudio en la zona de intensidad media es consecuencia del escaso intervalo de la FC ($160-166 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$). El porcentaje de tiempo en la zona de más intensidad fue significativamente superior en los puertos de categoría especial que en los puertos de 1ª y 2ª categorías. Además, la intensidad fue significativamente inferior en los puertos situados en la primera parte de la etapa que en los puertos situados en las partes media y final de las etapas (figura 4.82). Como los valores de la FC en la zona de más intensidad fueron similares en ambos estudios (> 166 vs. $> 169 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente), es necesario establecer otras causas para explicar las diferencias de los resultados. Probablemente, gran parte de las diferencias se pueden atribuir al nivel de rendimiento de los ciclistas. En el estudio de Rodríguez Marroyo *et al.*, (2003) la muestra estuvo compuesta por uno de los equipos profesionales más modestos, mientras que los ciclistas estudiados por Padilla *et al.*, (2008) pertenecían a uno de los equipos de mayor categoría. Así pues, es probable que los ciclistas estudiados por Rodríguez Marroyo *et al.*, (2003) regulasen su esfuerzo en las etapas con un perfil orográfico exigente, especialmente en la parte final de la etapa debido a las escasas posibilidades de un óptimo rendimiento. Aunque en menor medida, similar interpretación cabe realizar de los resultados encontrados por Padilla *et al.*, (2008). En este estudio se evidenció una FC promedio menor en los puertos situados en la parte final de las etapas que en los puertos situados en la parte media (figura 4.83). Es habitual que en la parte media de las etapas de media y alta montaña todos los ciclistas

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

desarrollen la misma velocidad de desplazamiento, e incluso que se les exija un mayor esfuerzo a los ciclistas del equipo que tengan un menor nivel de rendimiento. En cambio, es habitual que estos ciclistas, una vez realizado su trabajo, regulen su esfuerzo en los puertos situados en la parte final de las etapas con el objetivo de estar más descansados para las siguientes etapas. Así, puede considerarse que únicamente los ciclistas que disputan la etapa y/o la clasificación general de la carrera desarrollan una intensidad próxima a la máxima en los puertos situados en la parte final de las etapas. En consecuencia, los datos promedio de la FC y/o potencia de un equipo ciclista no reflejan la intensidad real desarrollada por los mejores ciclistas. Aun considerando la fatiga previa, la duración del esfuerzo en un puerto situado al final de las etapas (40-60 min) determina que probablemente los mejores ciclistas realicen en la ascensión un esfuerzo situado prioritariamente en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Futuros estudios deben verificar este análisis teórico.

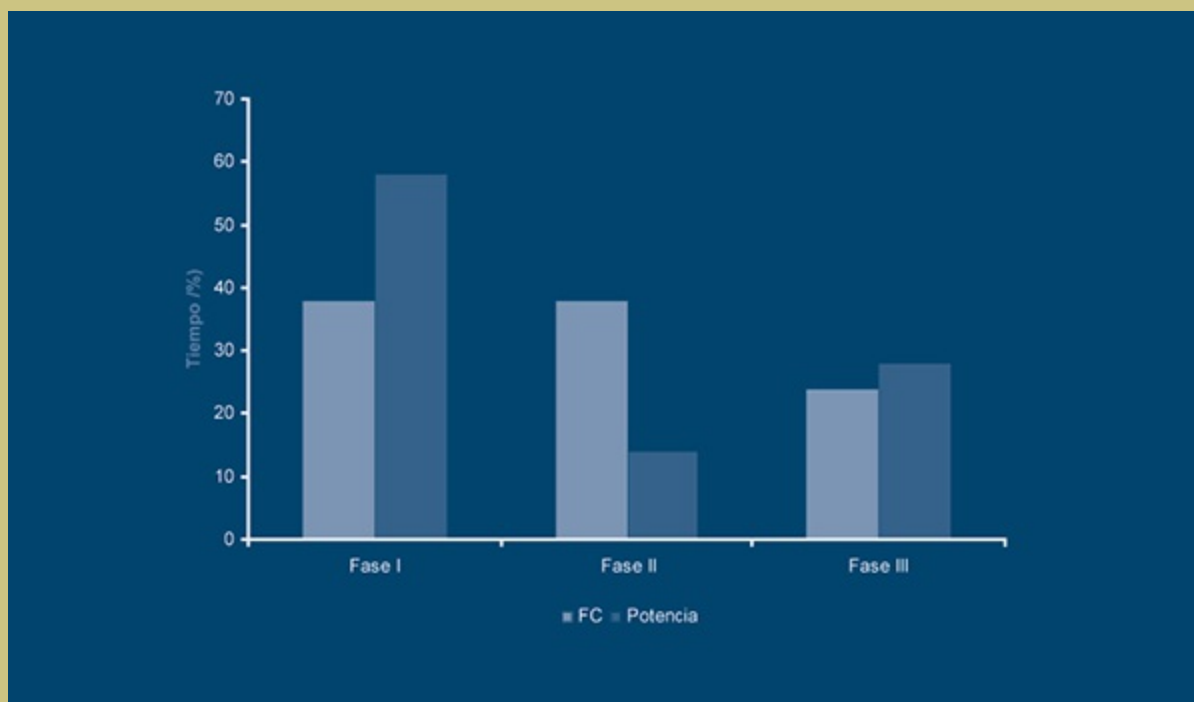


FIGURA 4.80. Diferencias en el porcentaje de tiempo en distintas zonas metabólicas durante una Vuelta de 5 etapas en función de la variable de referencia (FC y potencia). El análisis utilizando la potencia determina un mayor porcentaje de tiempo a baja y alta intensidad. Véase la tabla 4.34 para conocer los criterios utilizados para establecer las distintas fases de intensidad.

Elaborado con datos de Vogt S et al. Med Sci Sports Exerc 2006;38:147-51.

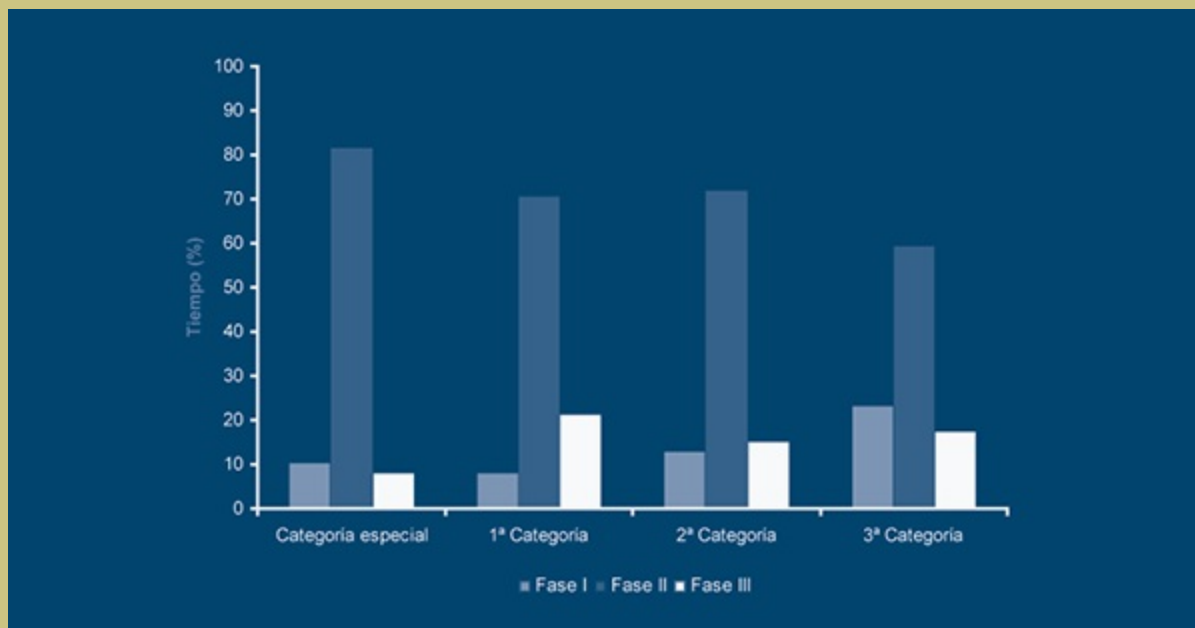


FIGURA 4.81. Diferencias en el porcentaje de tiempo en distintas zonas metabólicas en función de la categoría de los puertos en un grupo de ciclistas que disputaron la Vuelta a España. El porcentaje de tiempo que los ciclistas se desplazan en zonas de mayor intensidad es superior en la ascensión de puertos que el establecido habitualmente para la globalidad de competición. La intensidad será superior cuanto mayor sea la categoría de los puertos. Véase la tabla 4.34 para conocer los criterios utilizados para establecer las distintas fases de intensidad.

Adaptado de Rodríguez-Marroyo JA et al. Med Sci Sports Exerc 2003;35:1209-15.

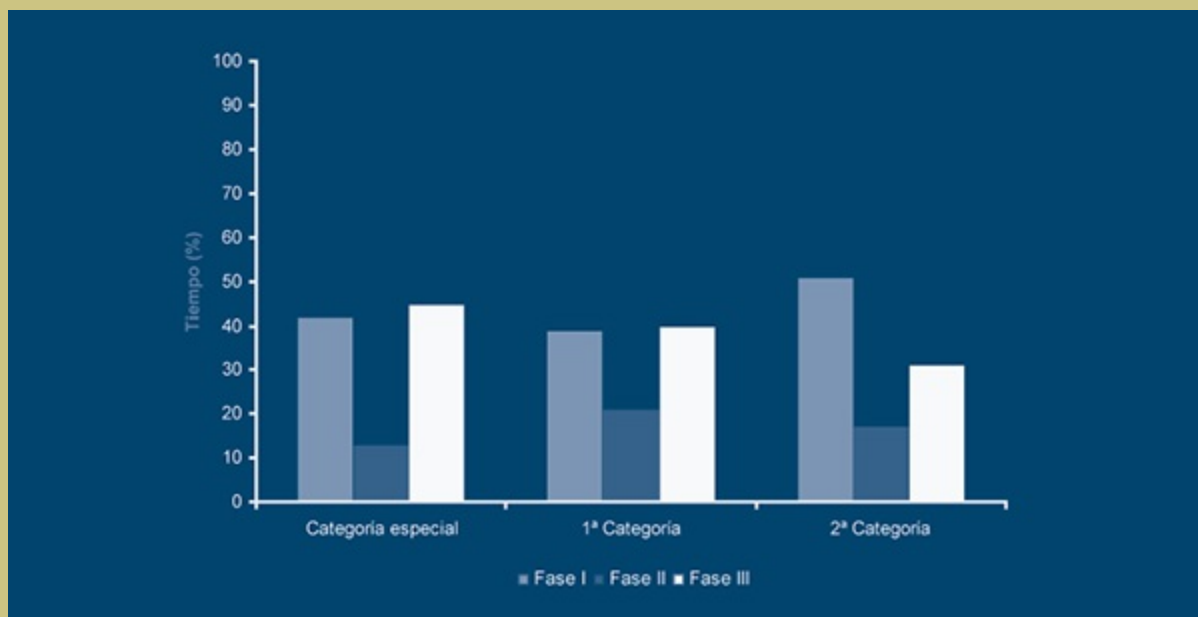


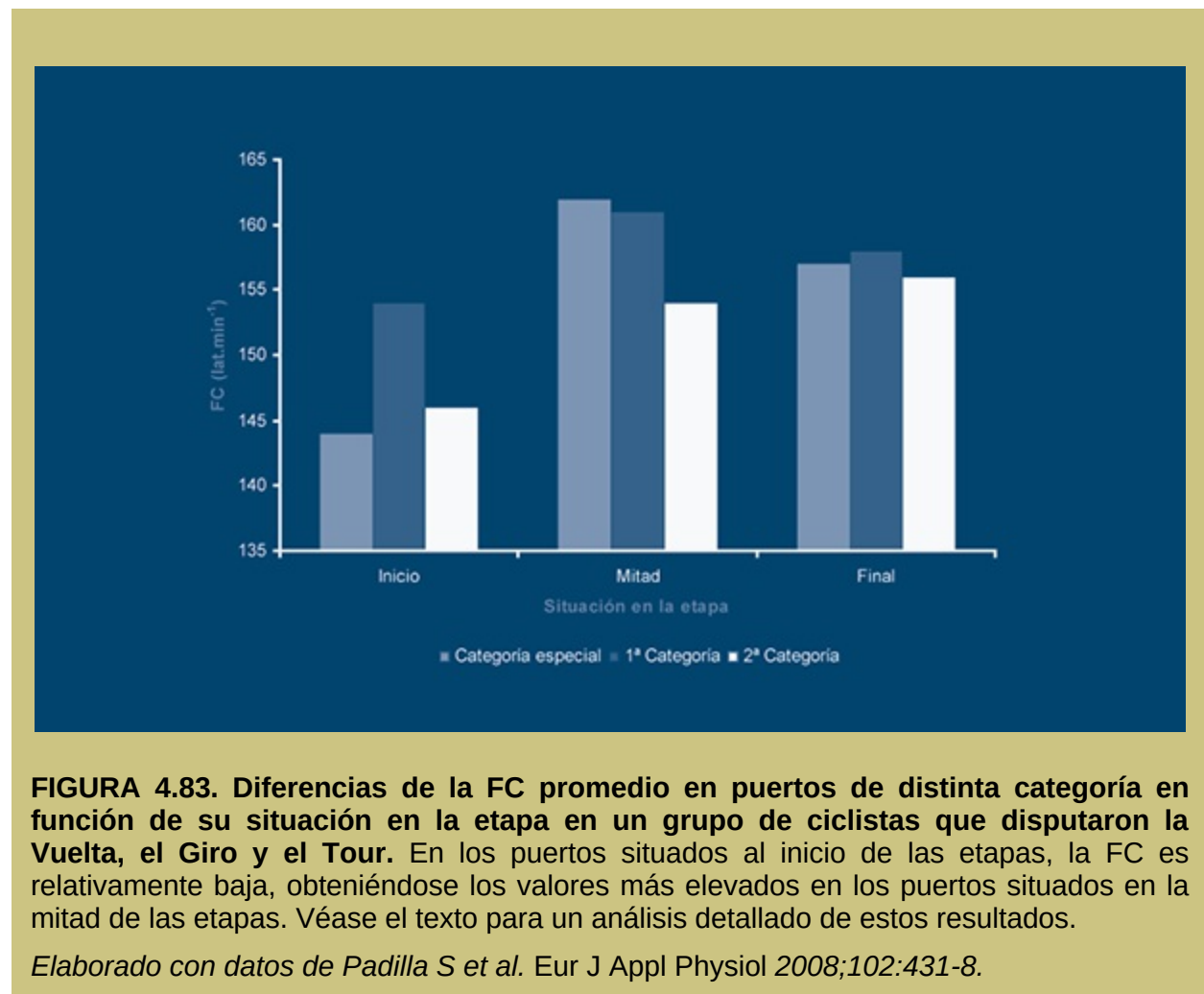
FIGURA 4.82. Diferencias en el porcentaje de tiempo en distintas zonas metabólicas en función de la categoría de los puertos en un grupo de ciclistas que disputaron la Vuelta, el Giro y el Tour. En este estudio, en relación con el ejemplo de la figura anterior, se evidencia que los ciclistas desarrollan en la ascensión de los puertos un mayor porcentaje de tiempo a intensidades bajas y elevadas. Véase el texto para un análisis detallado de estos resultados.

Adaptado de Padilla S et al. Eur J Appl Physiol 2008;102:431-8.

Las **pruebas cronometradas** son determinantes del rendimiento en el ciclismo en ruta. Se clasifican en prólogos (< 10 km), cortas (< 40 km), largas (> 40 km), cuesta arriba y por equipos (Padilla *et al.*, 2000a). Padilla *et al.*, (2000a) demostraron que la intensidad disminuye al aumentar la duración de la prueba. Los resultados de este estudio mostraron que los ciclistas realizan el esfuerzo durante el mayor porcentaje de tiempo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, especialmente en los prólogos y pruebas de corta duración. Sin embargo, se evidenció una gran variabilidad metabólica difícil de interpretar en un esfuerzo, que, aun considerando la orografía, cabe considerar prioritariamente constante. Nuevamente el análisis de todos los ciclistas del equipo puede ser la causa de estos resultados. Así, los autores encontraron que la FC promedio fue significativamente superior en los ciclistas que disputaron las pruebas cronometradas a la máxima intensidad posible que en los ciclistas que regularon su esfuerzo para estar más descansados en las siguientes etapas. Consideramos que en una prueba

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

cronometrada, de forma equivalente a lo establecido para los puertos finales de las etapas, en los ciclistas que desarrollan la máxima intensidad posible el esfuerzo se realiza en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, tal y como se establece en los ejemplos individuales mostrados en las figuras 4.33 y 4.34. Lógicamente, la intensidad en esta zona metabólica es menor al aumentar la duración de la prueba cronometrada.



De acuerdo con el análisis metabólico de los estudios presentados, con la interpretación de su resultado y con el conocimiento de los límites temporales de los distintos conceptos fisiológicos y mecánicos asociados a la resistencia, se representa en la figura 4.84 un **análisis teórico de las zonas metabólicas del ciclismo** de ruta en función de las distintas situaciones que se suceden en competición.

Es evidente, tanto por la duración del esfuerzo como por el análisis

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

metabólico realizado por distintos autores, que la mayor parte de la competición del ciclismo de ruta se desarrolla en la **zona de menor intensidad de eficiencia aeróbica**. Esta situación metabólica se ejemplifica en diversas situaciones, que además son las que con mayor frecuencia suceden en competición: cuando los ciclistas se desplazan en grupo o “pelotón” a velocidad crucero, en los descensos, cuando por circunstancias de competición los ciclistas deciden regular su esfuerzo y reservarse para otras etapas, etc.

En otras situaciones los ciclistas necesitan desarrollar una intensidad superior. El análisis metabólico ha mostrado que la FC promedio en los puertos es superior a la FC promedio en las etapas, a una intensidad próxima o ligeramente superior al U_{an} para la globalidad de la competición y los ciclistas. Así, es probable que la **zona de mayor intensidad de eficiencia aeróbica** sea la prioritaria en la mayoría de los puertos situados en las partes inicial y media de las etapas, y en los puertos situados en la parte final para los ciclistas que no disputen la etapa y/o la general. Probablemente, esta zona metabólica es la prioritaria en otras situaciones de competición. Cuando un ciclista va escapado, en cierto modo puede considerarse que realiza un esfuerzo a la máxima intensidad posible. Sin embargo, la intensidad relativa que puede desarrollar un ciclista escapado depende lógicamente de la distancia que tenga que recorrer para finalizar la etapa. Atendiendo a que el T_{lim} a VU_{an} es ~ 2 h, en todas las escapadas de una duración superior a 2 h el requerimiento energético debe ser satisfecho obligatoriamente en la zona más elevada posible de eficiencia aeróbica. Probablemente esta zona metabólica también va a ser la prioritaria cuando el ritmo del “pelotón” se incremente ligeramente con el objetivo, por ejemplo, de alcanzar a los ciclistas escapados, o cuando por condicionantes tácticos interese que el ritmo de carrera en toda o gran parte de la etapa sea elevado.

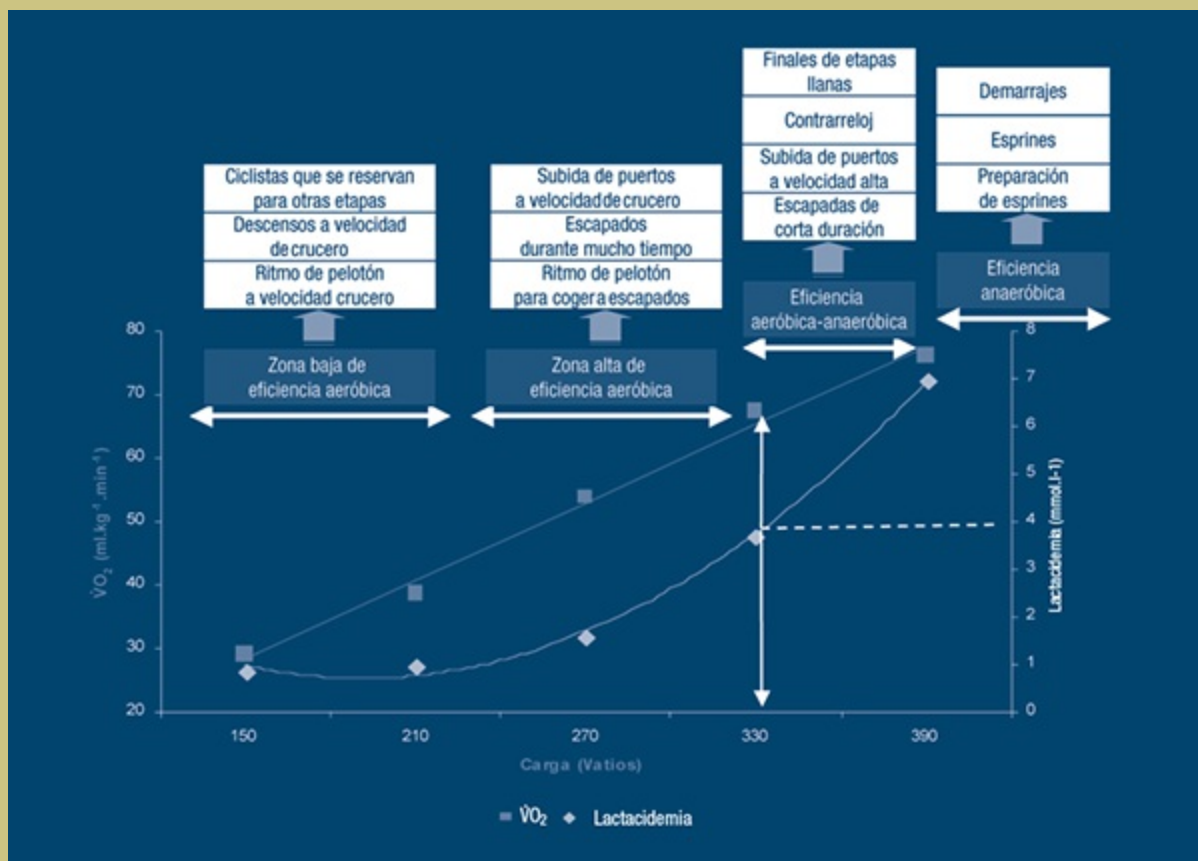


FIGURA 4.84. Análisis teórico de las zonas metabólicas del ciclismo de ruta asociadas a las distintas situaciones de competición. Las diferentes situaciones que suceden en el ciclismo de ruta determinan la demanda de todas las zonas metabólicas.

Original de los autores.

El porcentaje de tiempo que se ejecuta a intensidad elevada difiere significativamente entre los estudios, fundamentalmente por los criterios establecidos para determinar las zonas de intensidad. En el estudio de Vogt *et al.*, (2006) un 24% del tiempo se realiza a más de 163 lat·min⁻¹, y en las etapas de alta montaña un 17% del tiempo se realiza a más de 166 lat·min⁻¹ (Padilla *et al.*, 2001). En pruebas de tan larga duración, efectuar un 20% del esfuerzo a estas intensidades supone estar durante muchos minutos a una intensidad relativa superior a la VUan. Además, es probable que las situaciones que demandan las intensidades más elevadas sean las más decisivas para el rendimiento. Todas las situaciones de competición que requieran del ciclista realizar un esfuerzo cercano a su máxima intensidad

posible para un tiempo comprendido entre ~ 6 min y ~ 2 h van a desarrollarse en la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**. Además de en las pruebas cronometradas, es probable que esta zona metabólica se requiera en los últimos kilómetros de las etapas llanas, en las que el ritmo del “pelotón” es muy elevado, para intentar alcanzar a escapados, para desarrollar una velocidad que no permita escapadas o para preparar el esprín. También parece lógico que la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica sea la requerida por los ciclistas escapados cuando les queda menos de 2 h para llegar al final de la etapa. Un ciclista profesional tarda en subir un puerto entre 20 y 60 min, dependiendo de sus características (Rodríguez-Marroyo, 2003). En consecuencia, en aquellos puertos en los que por la situación de competición se requiere obligatoriamente desarrollar una intensidad próxima a la máxima el ciclista realizará el esfuerzo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

Únicamente las situaciones de competición que requieran un esfuerzo máximo inferior a 6 min pueden desarrollarse a una intensidad superior a la WAM, en la **zona de eficiencia anaeróbica**. Esta zona metabólica probablemente es la desarrollada cuando los ciclistas incrementan muy significativamente su velocidad de desplazamiento, por ejemplo en los últimos 2-3 km de la preparación de un esprín y durante el esprín, o cuando un ciclista realiza el primer esfuerzo para escaparse, “demarrajés”, especialmente en los últimos kilómetros de una etapa llana y en los puertos situados al final de la etapa.

Factores de rendimiento

En el análisis metabólico se ha especificado que un esfuerzo no máximo continuo de intensidad variable, como en el ciclismo de ruta, requiere en las diferentes situaciones de competición la utilización de todas las zonas metabólicas. En consecuencia, el rendimiento en competición está determinado por el **desarrollo combinado de la mayoría de los factores de rendimiento** especificados para los distintos esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante.

La duración del esfuerzo y el análisis metabólico del ciclismo de ruta determina que el rendimiento debe optimizarse sobre la base del desarrollo de la **zona de eficiencia aeróbica de baja y alta intensidad**. Como se ha justificado en el análisis de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante, el desarrollo de la eficiencia aeróbica está asociado a la

optimización de distintos factores de rendimiento: tolerancia y eliminación a concentraciones muy bajas de lactato, capacidad aeróbica glucolítica, movilización de grasas, termorregulación, equilibrio hidroelectrolítico, economía del esfuerzo y fuerza resistencia específica. El desarrollo de todos estos factores de rendimiento va a permitir que el ciclista afronte las situaciones de competición de mayor intensidad y más decisivas para el rendimiento con menor fatiga y con una mayor reserva de hidratos de carbono. Como se ha especificado repetidamente, la ampliación a una mayor intensidad de la zona de eficiencia aeróbica sólo es posible con el desarrollo de sus **límites fisiológicos**: la **VUan** y la **VAM**. De hecho, los ciclistas profesionales se caracterizan por tener el Uan próximo al VO_2 máx. y disponer de un VO_2 máx. muy elevado.

Las situaciones de competición más decisivas del ciclismo de ruta se desarrollan en las distintas intensidades de la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** y de la **zona de eficiencia anaeróbica**. Esto implica, además de la optimización de la economía del esfuerzo y de la fuerza resistencia asociadas a estas zonas metabólicas, la optimización de la tolerancia y eliminación de lactato a distintas concentraciones de lactato, $4\text{-}8\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para las situaciones de competición que implican la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y $> 8\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para las situaciones de competición que implican la zona de eficiencia anaeróbica. Al igual que para la eficiencia aeróbica, la ampliación a una mayor intensidad de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica requiere niveles óptimos de sus **límites fisiológicos**: **VUan** y de **VAM**. El desarrollo de la eficiencia anaeróbica, especialmente cuando se solicita a una intensidad más elevada, requiere niveles óptimos de **potencia anaeróbica**. La cinética del VO_2 y el VO_2 máx. son factores de rendimiento asociados a la zona de eficiencia anaeróbica. La optimización de ambos factores va a permitir en las situaciones de competición que requieran esta zona metabólica desarrollar una misma velocidad de desplazamiento con una menor aportación del metabolismo anaeróbico, asociado a una menor concentración de lactato. Aunque la capacidad aeróbica glucolítica y el equilibrio térmico e hidroelectrolítico no se consideran factores determinantes de la zona de eficiencia anaeróbica, en el ciclismo de ruta estos factores son determinantes del rendimiento en esta zona metabólica debido a que las situaciones de competición que la requieren se ejecutan en condiciones de fatiga. Es necesario resaltar nuevamente que excepto en las pruebas

cronometradas, a diferencia de los esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad constante, el rendimiento en las situaciones de competición que requieren la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y la zona de eficiencia anaeróbica está determinado parcialmente por la **fatiga acumulada previamente**.

Consideramos relevante destacar la **influencia del peso corporal** en los deportes que, como el ciclismo de ruta, se desarrollan en terrenos con marcadas variaciones orográficas. Las figuras 4.85 y 4.86 corresponden a los mismos datos fisiológicos de dos ciclistas de elite en competiciones internacionales. La diferencia entre ambas figuras estriba en la representación de los parámetros fisiológicos en relación con la potencia en valores absolutos (W) o en valores relativos al peso corporal ($W \cdot \text{kg}^{-1}$). En valores absolutos, el sujeto “A” presenta un mejor perfil fisiológico, desarrollando una potencia significativamente superior a nivel del Uan. Sin embargo, en valores relativos el perfil fisiológico es claramente mejor en el sujeto “B”. Esto determina que el sujeto “A” pueda desarrollar un rendimiento muy superior en pruebas sin marcadas variaciones orográficas, mientras que su rendimiento va a ser inferior al del sujeto “B” cuando haya que subir puertos con pendientes muy elevadas. De hecho, estas marcadas diferencias entre ambos ciclistas determinaron básicamente la forma en que obtuvieron éxito en las grandes Vueltas por etapas.

Los distintos estudios han focalizado su atención en determinar el porcentaje de tiempo en que los ciclistas se ejercitan en distintas zonas metabólicas. Sin embargo, un análisis más detallado probablemente podría demostrar que la **capacidad de recuperación entre los esfuerzos** desarrollados en las zonas de mayor intensidad es uno de los principales factores de rendimiento en un esfuerzo ejecutado a intensidad variable. En efecto, afrontar con menor fatiga las situaciones de competición que requieren mayor intensidad es determinante para el rendimiento. Para este objetivo se ha justificado la importancia del desarrollo de la eficiencia aeróbica. Sin embargo, es habitual que las demandas de la competición requieran del deportista una sucesión intermitente de esfuerzos realizados a intensidad elevada. En este caso, un ciclista con mejor eficiencia aeróbica-anaeróbica y, para las acciones de mayor intensidad, con mejor cinética del VO_2 y mayor VO_2 máx. desarrollará una misma velocidad a una intensidad relativa menor y con menor concentración de lactato, lo que le permitirá afrontar el siguiente esfuerzo de intensidad elevada en situación de menor

fatiga. Igual reflexión, lógicamente, se puede realizar respecto a los ciclistas con mejor economía de esfuerzo y mayores niveles de fuerza resistencia. En consecuencia, el desarrollo de los distintos factores de rendimiento fisiológicos y mecánicos asociados a la resistencia es la clave para afrontar las situaciones de competición más relevantes con menor fatiga. Independientemente de esta vía de optimización del rendimiento, también afrontarán con menor fatiga las situaciones relevantes de competición los ciclistas con mayor capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada intensidad. Así, de dos ciclistas que teóricamente presenten el mismo nivel de fatiga al finalizar la ascensión de un puerto, el ciclista con mejor capacidad de recuperación durante el descenso afrontará en mejores condiciones fisiológicas la ascensión del siguiente puerto, lo que probablemente le permitirá obtener un mejor rendimiento. En el ciclismo de ruta el tiempo de recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada es muy variable. Por ejemplo, en la ascensión de un puerto situado al final de la etapa un ciclista puede necesitar varios cambios de intensidad que se suceden con períodos cortos de menor exigencia para poder finalmente completar la etapa con menos tiempo que otro ciclista. La evidencia científica de la importancia de la capacidad de recuperación en esfuerzos ejecutados a intensidad variable es escasa. Se ha demostrado que después de un esfuerzo exigente los ciclistas profesionales tardan menos tiempo en recuperar los niveles basales de pH (Hug *et al.*, 2005). En un reciente estudio también se ha demostrado que la eliminación de lactato durante las fases de menor intensidad es un factor determinante del rendimiento en este tipo de esfuerzos (Björklund *et al.*, 2007). Según estos análisis, la capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia que se suceden con períodos de relativa **recuperación de distinta duración** debe considerarse uno de los principales factores de rendimiento de los esfuerzos que, como en el ciclismo de ruta, se ejecutan a intensidad variable.

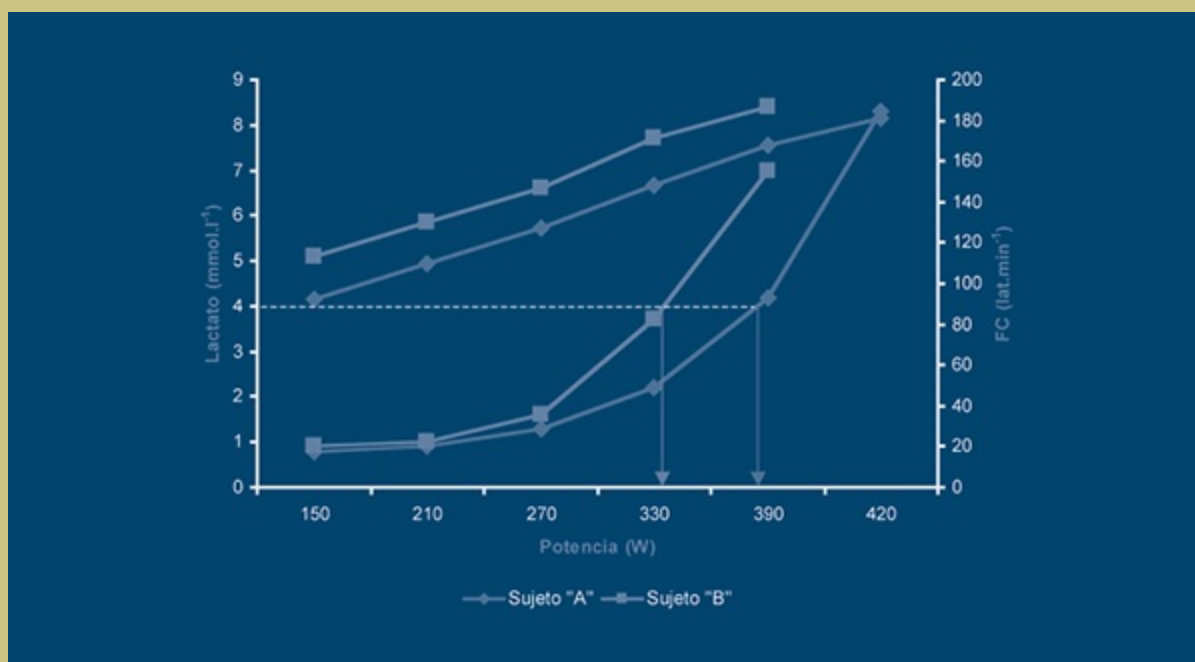


FIGURA 4.85. Diferencias de lactato/intensidad y FC/intensidad en dos ciclistas profesionales, expresando la potencia desarrollada en valores absolutos. El ciclista "A" tiene un mejor perfil fisiológico que el ciclista "B".

Original de los autores con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

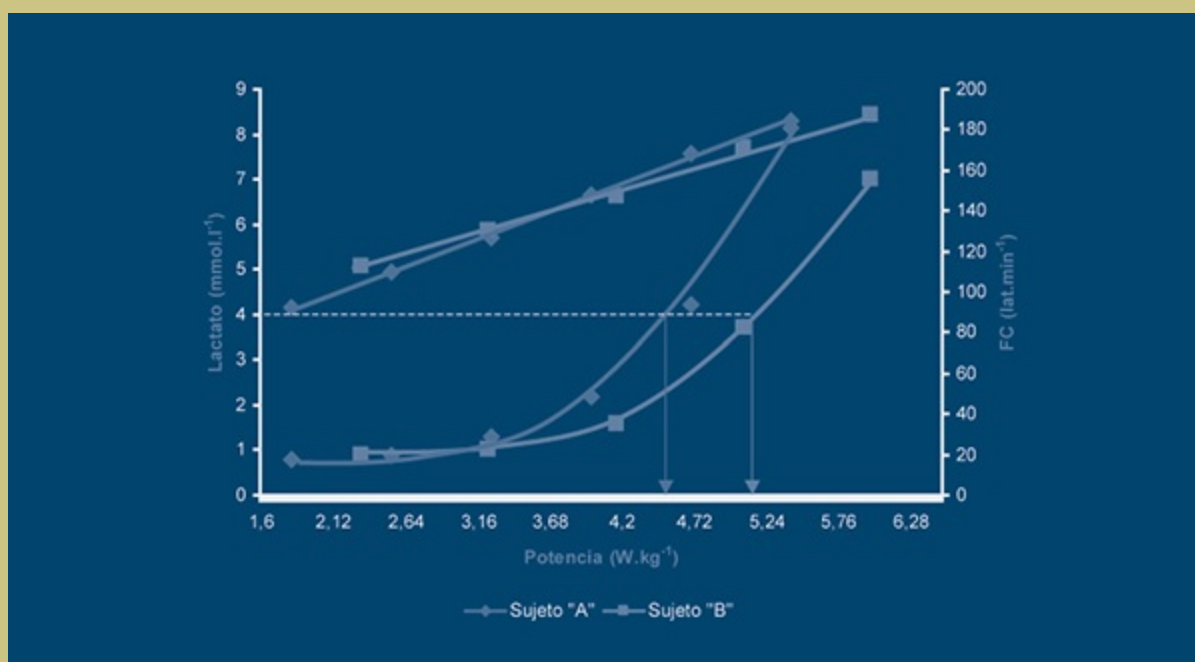


FIGURA 4.86. Diferencias de lactato/intensidad y FC/intensidad en dos ciclistas profesionales, expresando la potencia desarrollada en valores relativos al peso. Cuando se expresa la potencia en términos relativos al peso corporal, es el ciclista “B” quien muestra un mejor perfil fisiológico.

Original de los autores con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

En la tabla 4.35 se especifica la justificación de los principales factores que determinan el rendimiento en el ciclismo de ruta.

Según estos análisis, como se especifica en la tabla 4.36, el rendimiento en un esfuerzo no máximo continuo como es el realizado en el ciclismo de ruta lo determinan globalmente el desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica y sus factores de rendimiento asociados, el desarrollo en condiciones de fatiga de la zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y de eficiencia anaeróbica y sus factores de rendimiento asociados, y la capacidad de recuperación entre esfuerzos que demandan las zonas metabólicas de mayor intensidad. El desarrollo de las zonas de eficiencia aeróbica y de eficiencia aeróbica-anaeróbica debe realizarse sobre la base de niveles óptimos de $\dot{V}_{O_2}$ y $\dot{V}_{O_2}$ máx., y el desarrollo de la eficiencia anaeróbica, sobre la base de niveles óptimos de potencia anaeróbica láctica.

TABLA 4.35. Justificación de los principales factores del rendimiento en el ciclismo de ruta

Eficiencia aeróbica	Para desplazarse al menor porcentaje posible respecto a la WUan → menor fatiga para las fases de mayor exigencia
Capacidad aeróbica glucolítica y movilización de grasas	Para afrontar las fases de la competición de mayor exigencia con mayores reservas de hidratos de carbono, considerando también la capacidad de asimilación de hidratos de carbono en la competición
WUan	A mayor WUan, menor porcentaje de eficiencia aeróbica se requiere en las fases de menor exigencia → menor fatiga para las fases de mayor exigencia
Eficiencia aeróbica-anaeróbica (tolerancia al lactato 4-8 mmol·l ⁻¹)	Para desplazarse en zonas de exigencia elevada al menor porcentaje posible respecto a la WAM → menor fatiga para las fases de exigencia muy elevada Para desplazarse al mayor porcentaje posible respecto a la WAM cuando lo requieran las demandas de competición
VO ₂ máx. y WAM	A mayor WAM, menor porcentaje de eficiencia aeróbica-anaeróbica se requiere en las fases de exigencia elevada → menor fatiga para las fases de exigencia muy elevada A mayor WAM, mayor intensidad se puede desarrollar en las fases de exigencia muy elevada sin requerir la zona de eficiencia anaeróbica
Cinética del VO ₂	A mejor cinética del VO ₂ , menor participación del metabolismo anaeróbico en las fases de exigencia muy elevada → mantener más tiempo la intensidad y/o incrementarla
Eficiencia anaeróbica (tolerancia al lactato > 8 mmol·l ⁻¹)	Para desplazarse en zonas de exigencia muy elevada al menor porcentaje posible respecto a la potencia anaeróbica → mantener más tiempo la intensidad y/o incrementarla Para desplazarse al mayor porcentaje posible respecto a la potencia anaeróbica cuando lo requieran las demandas de competición
Recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia	Para afrontar los esfuerzos más decisivos con menor fatiga

Original de los autores.

En la figura 4.87 se observa que en un esfuerzo ejecutado a intensidad variable como ocurre en el ciclismo de ruta el propio desarrollo de las **zonas metabólicas específicas** está asociado a los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado**. Así, el desarrollo específico de la zona de eficiencia aeróbica de menor intensidad corresponde simultáneamente al desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado de la zona de eficiencia aeróbica de mayor intensidad. El desarrollo específico de la zona de eficiencia aeróbica de mayor intensidad corresponde simultáneamente al desarrollo del nivel de entrenamiento dificultado para la zona de eficiencia aeróbica de menor intensidad y al desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado para los esfuerzos que requieren la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. El desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica se asocia al nivel de entrenamiento facilitado para los esfuerzos que requieren la zona de eficiencia anaeróbica, y el desarrollo de esta zona metabólica se asocia al

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

nivel de entrenamiento dificultado de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. Además, en los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable como ocurre en el ciclismo de ruta existen otras directrices metodológicas que permiten dificultar o facilitar el nivel de exigencia del estímulo de entrenamiento. Como en la mayoría de entrenamientos y competiciones no se trabaja de forma aislada una zona metabólica concreta, se considera globalmente un nivel de entrenamiento facilitado o dificultado cuando, respectivamente, se afronta una situación de **intensidad exigente con menor o mayor fatiga** que la esperada en competición y/o cuando estas situaciones que son relevantes para el rendimiento se planifican **con menor o mayor exigencia**. Como uno de los factores relevantes para el rendimiento es la capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada intensidad, la ejecución de estos esfuerzos a mayor o menor intensidad y/o con **mayor o menor tiempo de recuperación** que el previsto en competición determina un nivel de entrenamiento dificultado y/o facilitado. También es posible modificar el nivel de exigencia estableciendo **menor o mayor intensidad en los períodos de recuperación** respecto a la intensidad prevista en competición. Además, es adecuado también el trabajo específico para **incrementar la magnitud y/o la frecuencia de aplicación de fuerza** y el trabajo de **tolerancia láctica con menor requerimiento energético** por unidad de tiempo.

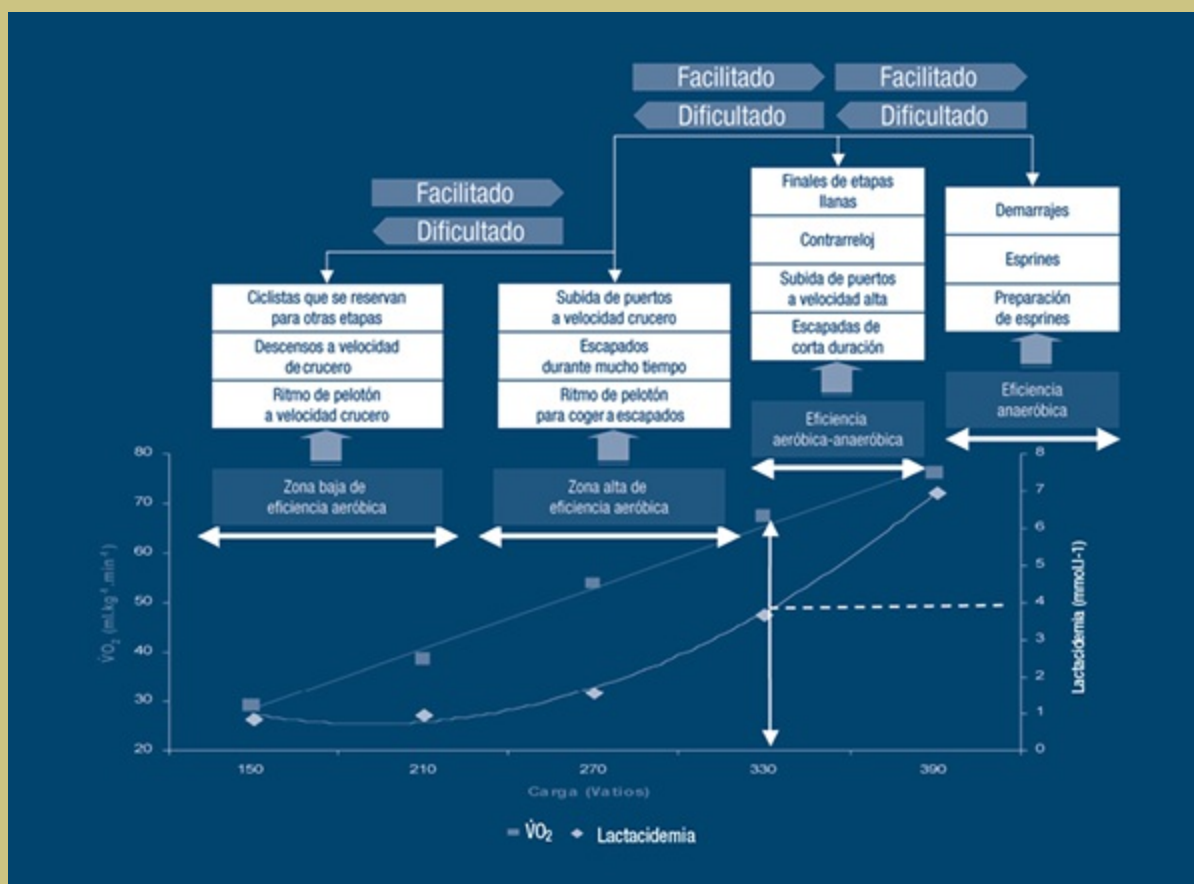


FIGURA 4.87. El desarrollo de las zonas metabólicas específicas del ciclismo de ruta asociado a los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado. Cuando se desarrolla el ciclismo de ruta en todas las zonas metabólicas, el entrenamiento específico de una zona metabólica sirve simultáneamente para desarrollar el nivel facilitado y dificultado de otras zonas metabólicas.

Original de los autores.

TABLA 4.36. Factores de rendimiento específicos y niveles de entrenamiento facilitado y dificultado en el ciclismo de ruta

<i>Límites fisiológicos</i>	
$\dot{V}O_2$ máx. y WAM WUan Potencia anaeróbica láctica	
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>
Eficiencia aeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración muy baja – Capacidad aeróbica glucolítica – Movilización de grasas – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica
<i>En condiciones de fatiga</i>	
Eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-baja – Capacidad aeróbica glucolítica – Movilización de grasas – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica
Eficiencia anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración alta – Capacidad aeróbica glucolítica* – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico* – Cinética del $\dot{V}O_2$ – $\dot{V}O_2$ máx. – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica
<i>Capacidad de recuperación entre esfuerzos</i>	
<i>Nivel dificultado</i>	
Zonas metabólicas específicas** Zona metabólica de intensidad superior previa a situaciones de competición de mayor exigencia Zona metabólica de intensidad superior en las situaciones de competición de mayor exigencia Menor tiempo de recuperación y/o mayor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza	
<i>Nivel facilitado</i>	
Zonas metabólicas específicas** Zona metabólica de intensidad inferior previa a situaciones de competición de mayor exigencia Zona metabólica de intensidad inferior en las situaciones de competición de mayor exigencia Mayor tiempo de recuperación y/o menor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior	

* Estos factores son determinantes de la zona de eficiencia anaeróbica debido a que las situaciones de competición que las requieren se ejecutan con fatiga previa (véase el texto);

** Como se especifica en el texto, el desarrollo de una zona metabólica específica implica simultáneamente el desarrollo de los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de otras zonas metabólicas específicas del ciclismo de ruta.

Original de los autores.

Metodología del entrenamiento

En las tablas 4.37-4.39 se establece la asociación entre los métodos de entrenamiento y el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento del ciclismo de ruta. Únicamente como criterio didáctico es adecuado etiquetar la metodología del entrenamiento de una modalidad deportiva que como el ciclismo de ruta presenta numerosas variantes en las situaciones de competición.

En el ciclismo de ruta, los métodos que simulan la competición pueden aplicarse en **sesiones específicas** de entrenamiento y en **competiciones**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

oficiales no prioritarias para el deportista. Éste debe controlar la intensidad relativa de esfuerzo mediante la potencia y/o la FC. De esta forma, en los entrenamientos y en la competición el ciclista debe regular su esfuerzo independientemente de la orografía y las demandas de la competición para trabajar exclusivamente en las zonas metabólicas programadas.

Atendiendo al análisis metabólico, el **nivel de entrenamiento específico** debe incidir en el desarrollo de las distintas zonas metabólicas, prioritariamente la **zona de eficiencia aeróbica** mediante la aplicación del método continuo a intensidad moderada de muy larga duración (2-6 h), el método continuo de intensidad elevada con menor duración (2-3 h) y los métodos que simulan la competición limitando la potencia a nivel del Uan. También se debe incidir en el desarrollo de las zonas metabólicas de mayor intensidad. Por tanto, ha de formar parte del programa de entrenamiento la aplicación del método continuo practicado a intensidad elevada (20 min-2 h) y la del método fraccionado practicado a intensidad elevada de larga duración (6-15 min) para desarrollar la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica**, así como la del método fraccionado practicado a intensidad elevada y duración de las repeticiones inferior a 6 min para el desarrollo de las distintas intensidades de la **zona de eficiencia anaeróbica**. Simultáneamente, la puesta en práctica de estos métodos de trabajo permite el desarrollo de los distintos **límites fisiológicos**: VUan (método continuo de 1-2 h), VO_2 máx., VAM (método fraccionado de 3-6 min) y potencia anaeróbica (método fraccionado de mseg a 15 seg). Estos métodos de trabajo deben plantearse en las diferentes situaciones de competición que demandan estas zonas metabólicas; así, deben realizarse por ejemplo en **terreno llano y ascendente**. Además, es necesario resaltar que para incidir específicamente en el desarrollo de estas zonas metabólicas se requiere la aplicación sin fatiga de los distintos métodos de entrenamiento planteados. Pero debemos recordar que en competición se necesita habitualmente la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica después de realizar muchos kilómetros en la zona de eficiencia aeróbica. Igualmente, las situaciones de competición que demandan la zona de eficiencia anaeróbica se suceden habitualmente previo trabajo tanto en las zonas de menor intensidad (eficiencia aeróbica) como en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica. En consecuencia, el desarrollo de las zonas de mayor intensidad debe integrarse, al igual que en competición, **en situación de fatiga** con un trabajo previo en zonas metabólicas de menor intensidad. Un trabajo de estas características puede realizarse en sesiones de entrenamiento

específicas y en competiciones oficiales. En ambos casos, como se ha indicado previamente, el control de la potencia y/o la FC nos permite regular el nivel de intensidad relativa que debe alcanzar el deportista en función de los objetivos de trabajo planificados.

Para incidir en el desarrollo de distintos objetivos fisiológicos se ha recomendado la aplicación del método fraccionado practicado a intensidad elevada. Este método permite desarrollar simultáneamente la **capacidad de recuperación** de los ciclistas. Sin embargo, el tiempo que transcurre y la intensidad desarrollada entre la realización de esfuerzos a una intensidad relativa muy elevada son muy variables en función de las demandas de la competición. También es muy variable la intensidad desarrollada en las situaciones de competición de mayor exigencia. Por este motivo, únicamente el método fraccionado practicado a intensidad elevada con recuperación incompleta de distinta duración y especialmente los métodos que simulan la competición pueden incidir en el desarrollo de la capacidad específica de recuperación que requiere un ciclista de ruta.

TABLA 4.37. Métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento específico del ciclismo de ruta

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx. y WAM		Fraccionado a intensidad elevada (3-6 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
WUan		Continuo a intensidad elevada (1-2 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Potencia anaeróbica láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Eficiencia aeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración muy baja - Capacidad aeróbica glucolítica - Movilización de grasas - Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico - Economía del esfuerzo - Fuerza resistencia específica	Continuo a intensidad elevada (2-3 h)
		Continuo a intensidad moderada (2-6 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
En condiciones de fatiga		
Eficiencia aeróbica-anaeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración media-baja - Capacidad aeróbica glucolítica - Termorregulación - Equilibrio hidroelectrolítico - Economía del esfuerzo - Fuerza resistencia específica	Continuo a intensidad elevada (20 min-2 h)*
		Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)*
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Eficiencia anaeróbica	- Tolerancia al lactato a concentración alta - Capacidad aeróbica glucolítica - Termorregulación - Equilibrio hidroelectrolítico - Cinética del VO₂ - VO₂ máx. - Economía del esfuerzo - Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (6 seg-6 min)**
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Capacidad de recuperación entre esfuerzos		Fraccionado a intensidad elevada (recuperación incompleta de distinta duración)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición

* Métodos a trabajar sin fatiga y con trabajo previo en eficiencia aeróbica y/o en eficiencia aeróbica-anaeróbica de menor intensidad.

** Métodos a trabajar sin fatiga y con trabajo previo en eficiencia aeróbica, eficiencia aeróbica-anaeróbica y/o eficiencia anaeróbica de menor intensidad.

Original de los autores.

Para un ciclista de ruta existen numerosas posibilidades de trabajar los **niveles de entrenamiento dificultado y facilitado**. Al respecto, se dificulta el nivel de entrenamiento con la aplicación de métodos que incidan progresivamente en **zonas metabólicas** de mayor intensidad. Así, para la intensidad baja de eficiencia aeróbica, se dificulta el nivel de entrenamiento con la realización en la intensidad más elevada de eficiencia aeróbica de un método continuo practicado a intensidad elevada durante 2-3 h. Se dificulta el nivel de entrenamiento de la intensidad más elevada de eficiencia aeróbica y de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica con la aplicación, respectivamente, de un método continuo a intensidad elevada (20 min-2 h) y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de un método fraccionado a intensidad elevada. Lógicamente, la aplicación de los métodos de entrenamiento de menor intensidad induce las respuestas de adaptación que permiten incrementar el nivel de exigencia de entrenamiento. La variación de intensidad asociada a la propia competición y a los métodos que la simulan determina un trabajo simultáneo de mayor o menor exigencia en función de las distintas zonas metabólicas.

Además de la mayor o menor exigencia determinada por la aplicación de los distintos métodos de entrenamiento, se modifica el nivel de entrenamiento de un ciclista de ruta **variando el nivel de fatiga** con el que debe afrontar las situaciones de competición de mayor intensidad y/o **variando la intensidad** de estas situaciones. Aunque estas modificaciones de intensidad pueden realizarse con innumerables planteamientos metodológicos, únicamente se puede incidir de forma específica con la propia competición o con métodos que la simulen. La participación en competiciones de carácter no prioritario, limitando la potencia que debe desarrollar el ciclista, constituye la principal directriz metodológica para desarrollar una menor intensidad en todas las situaciones de competición. Para dificultar el nivel de entrenamiento de la globalidad de la competición o de una parte de ésta es necesario realizar sesiones de entrenamiento específicas y seleccionar determinadas competiciones. Respecto a la selección de las competiciones, habitualmente la participación en competiciones de un día determina una intensidad relativa superior a la demandada por una etapa de una competición organizada en varios días. También es posible la selección de competiciones de uno o varios días que impliquen un recorrido de mayor o similar exigencia al que va a encontrar el ciclista en la competición que es objetivo de rendimiento. Además, en estas competiciones el ciclista puede plantear, en función de sus objetivos, numerosas situaciones que determinen un incremento de la intensidad relativa del esfuerzo. Respecto a las sesiones de entrenamiento específicas, cabe plantear numerosas variantes, realizadas en grupo o de forma individual, que permiten incrementar el nivel de exigencia de la competición. Se puede plantear, por ejemplo, situaciones de competición de elevada exigencia realizando previamente ~ 50 km a una intensidad próxima a la máxima. Este trabajo previo incide en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, incrementando el nivel de fatiga con que el deportista debe afrontar la situación de mayor exigencia: mayor concentración de lactato, mayor depleción de hidratos de carbono y mayor dificultad para mantener la temperatura temporal y el equilibrio hidroelectrolítico. Los mismos efectos

pueden obtenerse planteando situaciones de competición de elevada exigencia realizando previamente un recorrido con una orografía de mayor dificultad que la prevista en competición. Esto implica un nivel de fatiga previo superior que se puede obtener ascendiendo más puertos que en competición, ascendiendo puertos de mayor exigencia, incrementando la intensidad en la ascensión de los puertos y/o entre los puertos, y reduciendo la distancia entre los puertos. También hay numerosas variantes para incrementar la intensidad relativa en las situaciones de competición de mayor exigencia. Esto implica básicamente respecto a la competición un aumento, asociado o no a la orografía, de la duración y/o la intensidad del esfuerzo de mayor exigencia. Las situaciones de mayor exigencia deben plantearse a una intensidad constante y variable. La ejecución a una intensidad constante debe demandar del ciclista un esfuerzo cercano al máximo para la duración del esfuerzo establecida, por ejemplo, la ascensión de un puerto. La ejecución a intensidad variable debe demandar, al igual que en competición, cambios significativos de intensidad de distinta duración, que deben plantearse además con el requerimiento de mayores o menores intensidad y tiempo entre los cambios de intensidad.

Una de las principales vías para dificultar o facilitar el nivel de entrenamiento es modificando las **características del tiempo de recuperación entre esfuerzos** que requieren intensidad elevada. A este respecto, se han planteado ya dos directrices básicas en la selección de competiciones y de los métodos que las simulan, incrementar o disminuir el tiempo y/o la exigencia entre los esfuerzos de intensidad elevada. Estas modificaciones pueden ser realizadas también en sesiones de entrenamiento específicas mediante la aplicación de métodos fraccionados que plantean una recuperación incompleta entre las repeticiones. Este planteamiento únicamente se cumple en el método fraccionado practicado a intensidad moderada. Sin embargo, los componentes de entrenamiento que caracterizan este método de trabajo deben ser matizados para su aplicación en la optimización del rendimiento del ciclista de ruta. La intensidad relativa de este método de trabajo se ha situado en el intervalo del 70-90% de la máxima velocidad de desplazamiento asociada a la duración del esfuerzo. La realización de este método fraccionado a una intensidad del 70-80% es adecuado para incrementar, progresivamente a la menor duración de las repeticiones, la exigencia de tolerancia láctica con requerimiento energético inferior al demandado en competición. Sin embargo, este intervalo de

intensidad es significativamente inferior al requerido en las situaciones de competición de mayor exigencia. En consecuencia, con el objetivo de desarrollar la capacidad específica de recuperación del ciclista, se ejecutarán las repeticiones a una intensidad próxima al 90%. Las repeticiones han de plantearse con distintas duraciones debido a la variabilidad de tiempo característica de las situaciones de competición que requieren una intensidad elevada. Este método de trabajo es adecuado para plantear situaciones de mayor y de menor exigencia que en competición. La diferenciación en el objetivo de trabajo está asociada a la modificación del tiempo de recuperación entre las repeticiones y del esfuerzo que realiza el deportista en el tiempo de recuperación. Así, con el objetivo de preparar al deportista para una intensificación del nivel de entrenamiento, puede plantearse un método fraccionado a una intensidad próxima al 90% si el tiempo de recuperación entre las repeticiones es mayor que el observado entre algunas de las situaciones de mayor exigencia de competición y/o durante la recuperación el ciclista realiza un esfuerzo de menor intensidad. Disminuyendo el tiempo de recuperación e incrementando la intensidad entre las repeticiones planteamos situaciones de un nivel de exigencia progresivamente mayor.

Todas las modificaciones planteadas en la intensidad, duración y tiempo de los distintos métodos de entrenamiento inciden simultáneamente en el desarrollo de la fuerza resistencia a distintos niveles de exigencia. De forma específica, al igual que en otras modalidades deportivas, son aplicables los métodos de sobrecargas, resistido y asistido para **incrementar la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza**. En el ciclismo de ruta es posible modificar la magnitud de fuerza en el gesto motor específico con distintos medios: incrementar el peso del ciclista y/o la bici, incrementar la pendiente de la orografía, incrementar el desarrollo utilizado y el tiempo de exposición al viento. También es relevante el trabajo de la frecuencia de pedaleo. De hecho, numerosos estudios focalizan su objetivo en determinar la combinación óptima de desarrollo y frecuencia en las diferentes situaciones que plantea la competición (Rodríguez-Marroyo *et al.*, 2008; Rossato *et al.*, 2008; Watson y Swensen, 2006).

TABLA 4.38. Métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento dificultado del ciclismo de ruta

	<i>Métodos</i>
Zonas metabólicas específicas (véase el texto)	Fraccionado a intensidad elevada (6 seg-15 min)
	Continuo a intensidad elevada (20 min-3 h)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad superior previa a situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad superior en las situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Menor tiempo de recuperación y/o mayor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada	Fraccionado a intensidad elevada (15 seg-15 min)*
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza	Sobrecargas, resistidos y asistidos

*Estos métodos de trabajo deben aplicarse con recuperación incompleta de distinta duración.

Original de los autores.

TABLA 4.39. Métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento facilitado del ciclismo de ruta

	<i>Métodos</i>
Zonas metabólicas específicas (véase el texto)	Fraccionado a intensidad elevada (30 seg-15 min)
	Continuo a intensidad elevada (20 min-3 h)
	Continuo a intensidad moderada (2-5 h)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad inferior previa a situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad inferior en las situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Mayor tiempo de recuperación y/o menor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada	Fraccionado a intensidad elevada (15 seg-15 min)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior	Fraccionado a intensidad moderada (15 seg-15 min)

Original de los autores.

Como en otras modalidades deportivas de larga duración, en el ciclismo de ruta es posible dificultar el nivel de exigencia trabajando en condiciones ambientales adversas y modificando la ingestión de hidratos de carbono en la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

dieta y en los entrenamientos.

3.3. Resistencia en los esfuerzos máximos continuos de intensidad variable (p. ej., competiciones de BTT)

Análisis metabólico

Las competiciones de BTT y de esquí de fondo son dos ejemplos de esfuerzos máximos continuos ejecutados a intensidad variable. A diferencia del ciclismo de ruta, en estas dos modalidades deportivas, debido a la menor duración de la competición y al diferente condicionante táctico de esfuerzo, se puede considerar que los deportistas realizan el menor tiempo posible para la distancia establecida. La intensidad está determinada en menor medida por una regulación táctica del esfuerzo y es más dependiente de la orografía. Analizaremos específicamente en este apartado las competiciones de BTT (modalidad olímpica) porque suponen un esfuerzo con marcadas variaciones en la intensidad.

La **competición en BTT**, en su modalidad olímpica, consiste en recorrer un circuito natural de 4-9 km por caminos forestales, pistas y campos de tierra y grava que debe incluir importantes subidas y bajadas. Se recorre varias veces para ajustar un tiempo de carrera de 120-135 min en hombres y 105-120 en mujeres. El ascenso total promedia unos 1.500 m de altitud (Impellizzeri y Marcora, 2007). Las subidas en algunas competiciones suponen el 40% de la distancia total (Lee *et al.*, 2002).

Aunque las **variaciones de intensidad** en competiciones de BTT son debidas prioritariamente a la **orografía**, está demostrado que el tiempo en recorrer el circuito en las primeras vueltas es significativamente inferior al de las últimas vueltas (Impellizzeri *et al.*, 2002), sugiriendo la influencia de las **demandas de la competición**. De hecho, se ha observado una mayor concentración de lactato en las primeras vueltas (Wingo *et al.*, 2004; Dal Monte y Faina, 1999).

Se sugiere que se desarrolla mayor intensidad en las primeras vueltas con el fin de obtener una mejor posición y así evitar la limitación de velocidad causada por ciclistas mejor posicionados en las partes del circuito donde es

difícil adelantar.

Una aproximación metabólica basada en la duración del esfuerzo (~ 2 h) situaría las competiciones de BTT a una velocidad próxima a la VUan. Sin embargo, debido a la orografía, que determina grandes variaciones en la intensidad, el análisis metabólico en función de la duración de esfuerzo es erróneo. En contraste con el ciclismo de ruta, existen pocos estudios que hayan determinado el **metabolismo en competiciones de BTT** (Stapelfeldt *et al.*, 2004; Impellizzeri *et al.*, 2002; Dal Monte y Faina, 1999). Dal Monte y Faina (1999) e Impellizzeri *et al.*, (2002) basaron su análisis de la competición en la determinación de la FC. Stapelfeldt *et al.*, (2004), en un análisis comparativo de la FC y la potencia, mostraron que, mientras que la potencia en una competición de BTT se caracteriza por una amplia variabilidad (coeficiente de variación = 69%) asociada al perfil de la carrera (con los valores más altos en las subidas y aceleraciones, y los mínimos en los descensos y desaceleraciones), la FC presenta poca variación (intervalo de $20 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$ para un promedio de $185 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$, coeficiente de variación = 3%).

Este análisis queda claramente reflejado al observar las variaciones de la potencia y la FC en función del perfil orográfico durante una vuelta al circuito de competición (figura 4.88). Estos datos confirman que cuanto mayor es la variabilidad en la intensidad de un esfuerzo, menor validez tiene su análisis mediante la FC. En consecuencia, basaremos el análisis metabólico de las competiciones de BTT en función de los resultados encontrados mediante el estudio de la potencia por Stapelfeldt *et al.*, (2004).

De forma equivalente a lo establecido en el ciclismo de ruta, se requiere para el análisis metabólico de las competiciones de BTT la determinación previa de **datos de potencia determinados en laboratorio**. Stapelfeldt *et al.*, (2004) evaluaron en 11 ciclistas del equipo nacional alemán la relación entre la potencia y la situación metabólica mediante un esfuerzo incremental hasta el agotamiento. Establecieron la potencia a nivel del Uae (WUae) (determinado como la mínima *ratio* lactato/ VO_2), a nivel del Uan (WUan) siguiendo las directrices de Berg *et al.*, (1990) ($1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ por encima del Uae), y la potencia aeróbica máxima (WAM). De esta forma establecieron cuatro zonas metabólicas en relación con la potencia desarrollada: zona 1 ($< \text{WUae}$), zona 2 (entre la WUae y la WUan), zona 3 (entre la WUan y la WAM) y zona 4 ($> \text{WAM}$).

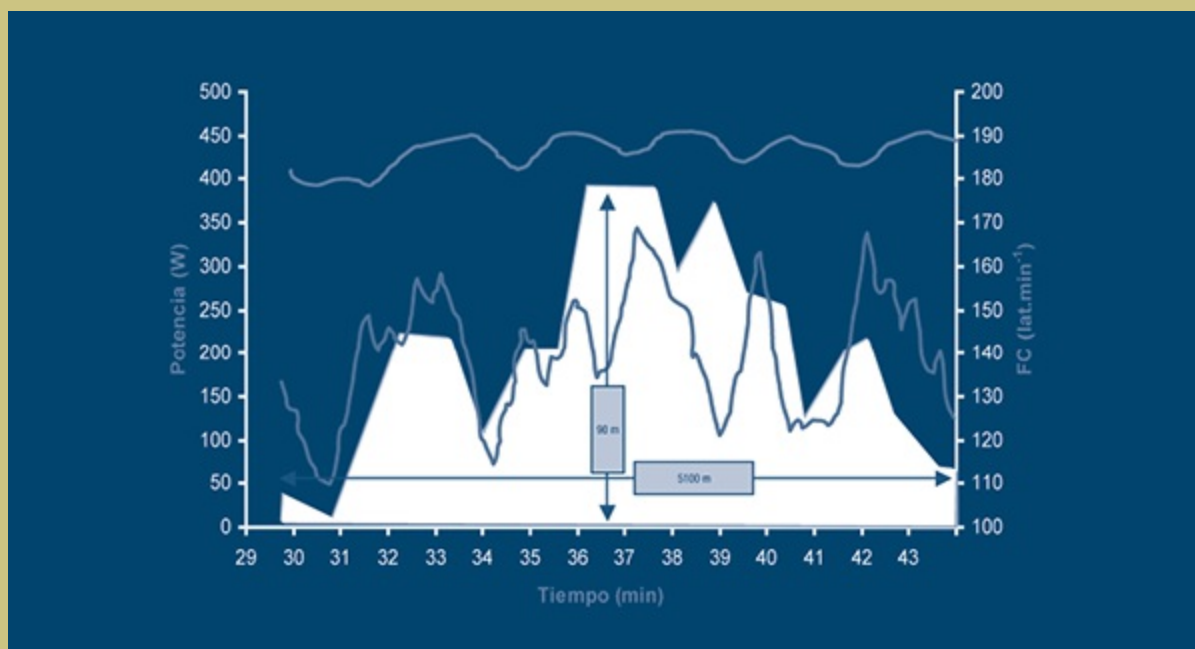


FIGURA 4.88. Ejemplo de la variabilidad en la potencia en función de la orografía y la estabilidad de la FC durante una vuelta al circuito de una competición de BTT. La potencia desarrollada se ajusta perfectamente al perfil orográfico del circuito mientras que la FC se mantiene relativamente constante.

Adaptado de Stapelfeldt B et al. Int J Sports Med 2004;25:294-300.

Extrapolando estos datos con la potencia desarrollada en un total de 36 registros de competición oficial obtuvieron la situación metabólica mostrada en la figura 4.89. Los resultados muestran que las competiciones de BTT tienen una gran **variabilidad metabólica**: 58% del tiempo en la zona de eficiencia aeróbica, 20% en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y 22% a intensidades superiores al VO_2 máx. La duración del esfuerzo (2 h y 3 min) nos permite observar la gran variabilidad metabólica respecto a esfuerzos máximos continuos de similar duración ejecutados a intensidad constante como la maratón. Consideramos además que el perfil metabólico determinado en este estudio no refleja la realidad de la competición. Como hemos hecho para el ciclismo de ruta, en la figura 4.90 se representa un **análisis teórico de las zonas metabólicas de las competiciones de BTT** en función de las distintas situaciones que se suceden en competición.

Probablemente el porcentaje de tiempo en que el deportista se encuentra en la **zona más baja de eficiencia aeróbica** (39%) se debe realmente al tiempo en que la potencia es muy baja o nula como consecuencia de las continuas

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

desaceleraciones y bajadas, y por tanto no es atribuible a la realización de un esfuerzo continuo en esta zona metabólica. Consideramos desde esta perspectiva que la zona más baja de eficiencia aeróbica es irreal en las competiciones de BTT y que realmente corresponde a un tiempo que permite un cierto grado de recuperación entre esfuerzos. Probablemente, el tiempo en que el deportista realiza su esfuerzo en la **zona de eficiencia aeróbica de alta intensidad** (19%) pertenece también a períodos de recuperación, y/o cuando por diversas circunstancias tiene que desplazarse a una velocidad relativamente baja, y/o pertenecientes al tiempo que transcurre entre el paso de desarrollar una potencia baja a una alta por el deportista. Atendiendo al tiempo que se puede mantener un esfuerzo en la zona más elevada de eficiencia aeróbica y al tiempo que dura la competición, difícilmente esta zona de trabajo puede considerarse relevante para el rendimiento.

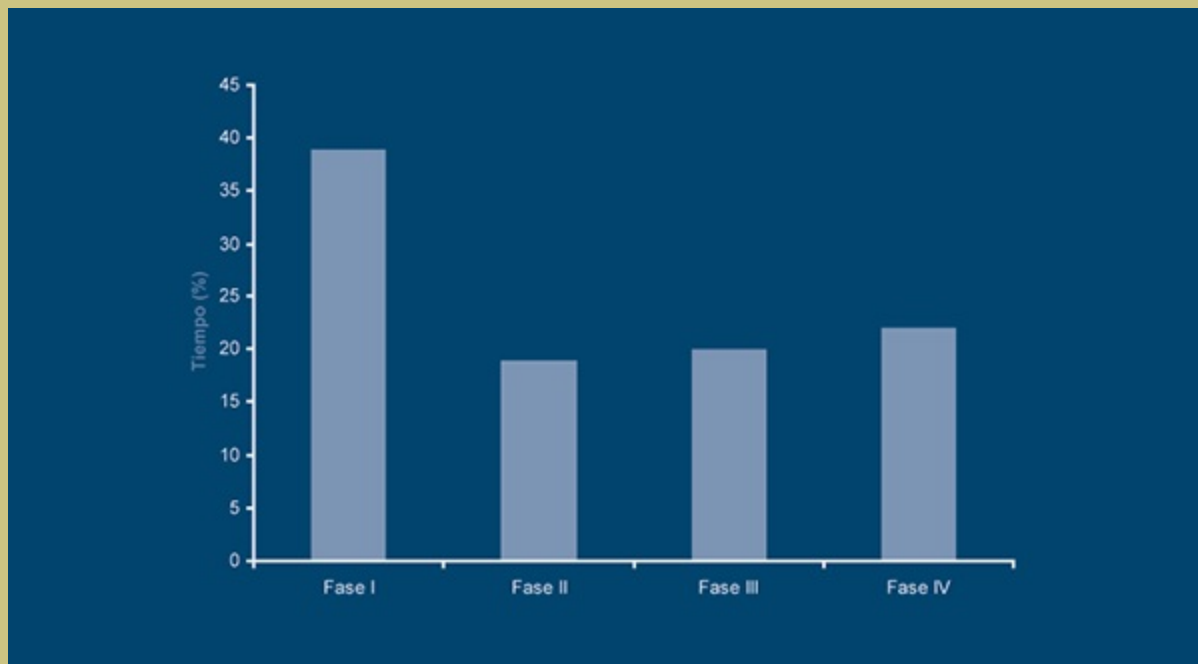


FIGURA 4.89. Porcentaje del tiempo en que un grupo de ciclistas se ejercitó en distintas zonas de intensidad durante competiciones de BTT. Durante un elevado porcentaje de tiempo, los ciclistas realizan el esfuerzo a una intensidad superior al $\dot{V}O_{2\max}$ (fase III) y al $\dot{V}O_{2\max}$ (fase IV). Un elevado porcentaje de tiempo desarrollado a una intensidad inferior al $\dot{V}O_{2\max}$ (fases I y II) puede corresponder a períodos de relativa recuperación como los descensos.

Adaptado de Stapelfeldt B et al. Int J Sports Med 2004;25:294-300.

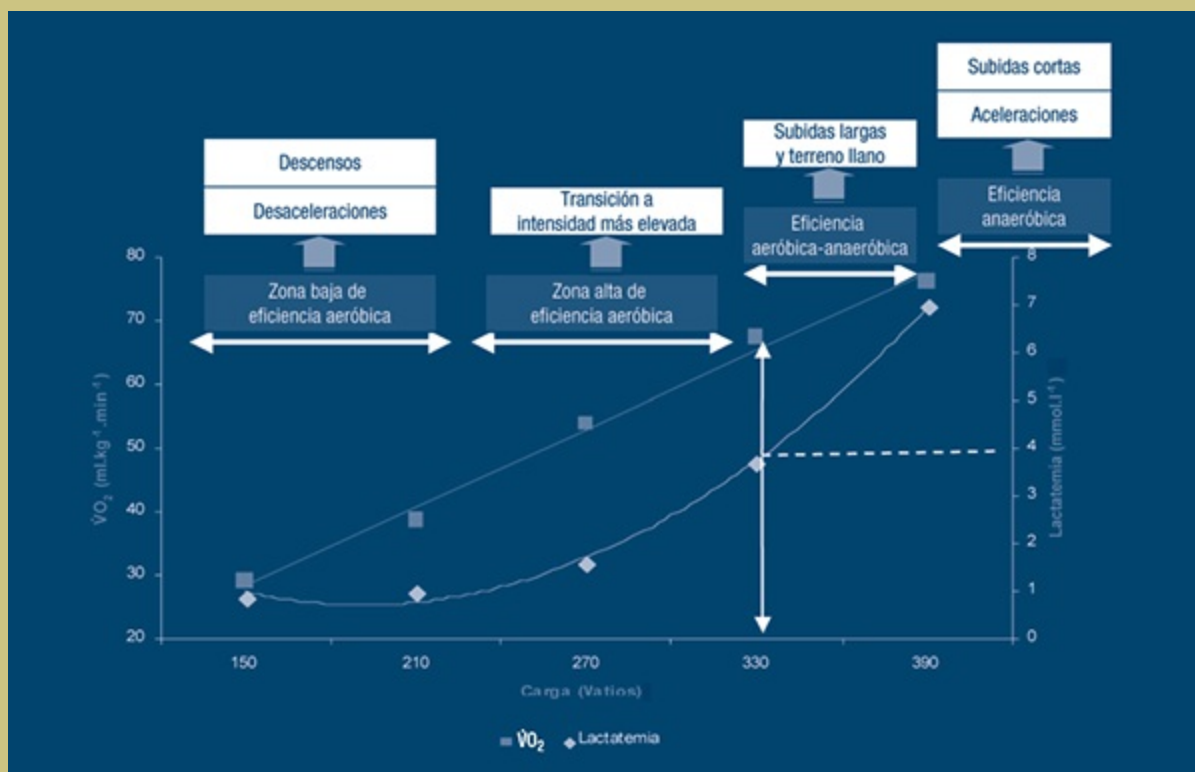


FIGURA 4.90. Análisis teórico de las zonas metabólicas de las competencias de BTT asociadas a las distintas situaciones de competición. Obsérvese las diferentes situaciones que inducen al trabajo en las distintas zonas metabólicas. La mayoría de las situaciones asociadas a las zonas de menor intensidad corresponden a períodos de relativa recuperación y a la transición entre esfuerzos ejecutados a distinta intensidad.

Original de los autores.

Por la duración del esfuerzo y los descansos que se observan, la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** probablemente corresponde a la velocidad de crucero o constante que el ciclista realiza en los terrenos llanos o en las ascensiones de mayor duración (4-6 min). El porcentaje de tiempo en que el ciclista está en la **zona de eficiencia anaeróbica** corresponde probablemente a las ascensiones o subidas de corta duración (2-3 min) y a las aceleraciones continuas.

Factores de rendimiento

En el análisis metabólico se ha especificado que, al igual que en el ciclismo de ruta, un esfuerzo máximo continuo de intensidad variable como en las

competiciones de BTT requiere en las diferentes situaciones de competición la utilización de todas las zonas metabólicas. Sin embargo, a diferencia de en el ciclismo de ruta, la zona de eficiencia aeróbica probablemente es irreal, correspondiendo a un tiempo de recuperación entre esfuerzos de elevada intensidad. Un importante elemento diferenciador es que el ciclista necesita la zona de eficiencia anaeróbica más de un 20% del tiempo.

Este análisis implica que en las competiciones de BTT debe optimizarse fundamentalmente la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** y sus factores de rendimiento asociados (tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones medias y bajas, capacidad aeróbica glucolítica, termorregulación, equilibrio hidroelectrolítico, economía de esfuerzo y fuerza resistencia específica). También lógicamente hay que desarrollar los **límites fisiológicos** de esta zona metabólica, la VUan, el VO_2 máx. y la VAM. El desarrollo de todos estos factores de rendimiento va a permitir que el ciclista afronte las situaciones de competición de mayor intensidad con menor fatiga. Las situaciones de competición de mayor intensidad se desarrollan en la zona de eficiencia anaeróbica. La **zona de eficiencia anaeróbica** debe trabajarse sobre niveles óptimos de su **límite fisiológico**, la potencia anaeróbica láctica, y está asociada al desarrollo de otros factores de rendimiento (tolerancia y eliminación de lactato a concentraciones altas, cinética del VO_2 , VO_2 máx., economía del esfuerzo y fuerza resistencia específica). Aunque para los esfuerzos ejecutados a intensidad constante, debido a la duración del esfuerzo, la capacidad aeróbica glucolítica no es determinante de la zona de eficiencia anaeróbica, para las competiciones de BTT debe incluirse para esta zona el desarrollo de este factor, porque la duración de la competición determina que en la parte final los esfuerzos de mayor exigencia estén limitados en su intensidad a las reservas de hidratos de carbono de que disponga el deportista. Similar reflexión cabe establecer para la termorregulación y el equilibrio hidroelectrolítico. El análisis motor y metabólico de la competición determina que la **capacidad de recuperación entre esfuerzos** de muy alta intensidad que se suceden en períodos de tiempo cortos es uno de los factores más determinantes del rendimiento en las competiciones de BTT. En la tabla 4.40 se especifican los factores que se debe desarrollar en las competiciones de BTT.

De forma análoga a lo establecido para el ciclismo de ruta, el desarrollo de una determinada zona metabólica específica está asociado al desarrollo simultáneo de los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado** de otras

zonas metabólicas. Se debe incidir también en los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado modificando la intensidad de las situaciones de menor y mayor exigencia. Entre estas modificaciones se incluye el tiempo y la intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de mayor exigencia, y el nivel de magnitud y frecuencia de aplicación de la fuerza.

Metodología del entrenamiento

En las tablas 4.41-4.43 se establece como referencia didáctica la asociación entre los métodos de entrenamiento y el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento para las competiciones de BTT.

Atendiendo al análisis metabólico, el **nivel de entrenamiento específico** debe incidir prioritariamente en el desarrollo de la **zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica** mediante la aplicación del método fraccionado practicado a intensidad elevada y duración larga y de métodos que simulan la competición. No se incluyen los métodos continuos para este objetivo debido a que en competición se incide en esta zona metabólica de forma continuada durante un período inferior a 4-6 min. También se debe incidir, sin y con fatiga, en el desarrollo de las distintas intensidades de la **zona de eficiencia anaeróbica** mediante la aplicación del método fraccionado de intensidad elevada y duración inferior a 6 min y de métodos que simulan la competición. Simultáneamente, la aplicación del método fraccionado practicado a intensidad elevada con distinta duración de las repeticiones permite desarrollar los **límites fisiológicos** de mayor intensidad en las competiciones de BTT, el VO_2 máx., la VAM y la potencia anaeróbica. El límite fisiológico de menor intensidad, la VUan, debe ser trabajado con el método continuo practicado a intensidad elevada con una duración de ~ 1 h. El método fraccionado practicado a intensidad elevada con recuperación incompleta y especialmente los métodos que simulan la competición son los más adecuados para incidir en el desarrollo de la **capacidad de recuperación** específica que requiere el deportista.

Las directrices metodológicas para desarrollar los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado** son similares a las especificadas para el ciclismo de ruta. El nivel de entrenamiento se dificulta con la realización de métodos que inciden progresivamente en las zonas metabólicas específicas de mayor intensidad, modificando el nivel de fatiga con el que se debe afrontar las situaciones de competición de mayor exigencia y variando la

intensidad de estas situaciones en la aplicación de métodos que simulan la competición.

La realización de entrenamientos y de competiciones no prioritarias, limitando la intensidad voluntaria desarrollada por el deportista, y/o con una orografía de menor exigencia, constituyen las principales directrices metodológicas para desarrollar una menor intensidad que en competición. También la ejecución de esfuerzos de mayor duración que la competición determina una menor intensidad relativa de trabajo.

Debemos recordar que, a diferencia del ciclismo de ruta, las competiciones de BTT se desarrollan a la máxima intensidad posible. Por este motivo, para incrementar la intensidad respecto a la demandada en competición, es necesario plantear situaciones de entrenamiento muy específicas. El planteamiento básico consiste en realizar un esfuerzo a la máxima intensidad posible para una duración inferior a la de competición. La menor duración va a estar asociada a una intensidad relativa media de esfuerzo superior a la de competición. De esta forma, el deportista debe afrontar las situaciones de mayor exigencia con un nivel de fatiga superior. Simultáneamente, la realización de un esfuerzo de menor duración que la competición permite también desarrollar mayor intensidad en las situaciones de mayor exigencia.

TABLA 4.40. Factores de rendimiento específicos y niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de las competiciones de BTT

Límites fisiológicos

$\dot{V}O_2$ máx. y WAM

WUan

Potencia anaeróbica láctica

Zona metabólica específica

Factores de rendimiento

Eficiencia aeróbica-anaeróbica

- Tolerancia al lactato a concentración media-baja
- Capacidad aeróbica glucolítica
- Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

En condiciones de fatiga

Eficiencia anaeróbica

- Tolerancia al lactato a concentración alta
- Capacidad aeróbica glucolítica*
- Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico*
- Cinética del $\dot{V}O_2$
- $\dot{V}O_2$ máx.
- Economía del esfuerzo
- Fuerza resistencia específica

Capacidad de recuperación entre esfuerzos

Nivel dificultado

Zonas metabólicas específicas

Zona metabólica de intensidad superior previa a situaciones de competición de mayor exigencia

Zona metabólica de intensidad superior en las situaciones de competición de mayor exigencia

Menor tiempo de recuperación y/o mayor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada

Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza

Nivel facilitado

Zonas metabólicas específicas

Zona metabólica de intensidad inferior previa a situaciones de competición de mayor exigencia

Zona metabólica de intensidad inferior en las situaciones de competición de mayor exigencia

Mayor tiempo de recuperación y/o menor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada

Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior

* Estos factores son determinantes de la zona de eficiencia anaeróbica debido a que las situaciones de competición que la requieren se ejecutan con fatiga previa (véase el texto).

Original de los autores.

Lógicamente, esta directriz metodológica puede ser aplicada con numerosas variantes asociadas a la duración del esfuerzo, a la exigencia de la orografía y al tiempo y la intensidad desarrollada entre esfuerzos de mayor exigencia.

TABLA 4.41. Métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento específico de las competiciones de BTT

Límites fisiológicos		Métodos
VO ₂ máx. y WAM		Fraccionado a intensidad elevada (1-6 min)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
WUan		Continuo a intensidad elevada (~ 1 h)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Potencia anaeróbica láctica		Fraccionado a intensidad elevada (mseg-15 seg)
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Eficiencia aeróbica-anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración media-baja – Capacidad aeróbica glucolítica – Movilización de grasas – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (6-15 min)*
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
En condiciones de fatiga		
Eficiencia anaeróbica	– Tolerancia al lactato a concentración alta – Cinética del VO₂ – VO₂ máx. – Economía del esfuerzo – Fuerza resistencia específica	Fraccionado a intensidad elevada (6 seg-6 min)*
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Capacidad de recuperación entre esfuerzos		Fraccionado a intensidad elevada (recuperación incompleta de distinta duración)
		Fraccionados y continuos que simulan la competición

* Métodos a trabajar sin fatiga y con trabajo previo en la intensidad de eficiencia aeróbica-anaeróbica y/o de eficiencia anaeróbica de menor intensidad.

Original de los autores.

Además de modificando las situaciones de competición mediante los métodos simulados, la capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia puede ser trabajada con el método fraccionado practicado a intensidad moderada. Al igual que para el ciclismo de ruta, la realización de este método de trabajo a una intensidad relativa baja únicamente es adecuada para incrementar progresivamente el nivel de exigencia de tolerancia láctica con requerimiento energético por unidad de tiempo inferior al de competición. La realización de este método de trabajo a una intensidad relativa elevada, modificando el tiempo de recuperación entre las repeticiones

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

y la intensidad, permite facilitar o dificultar el nivel de entrenamiento.

El incremento del peso del ciclista y/o de la bicicleta, de la pendiente y del desarrollo utilizado son medios adecuados para incrementar la magnitud de fuerza. Con este objetivo son aplicables también los métodos de sobrecargas. Al igual que en el ciclismo de ruta, se requiere una óptima combinación de desarrollo y frecuencia de aplicación de la fuerza.

TABLA 4.42. Métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento dificultado de las competiciones de BTT

	<i>Métodos</i>
Zonas metabólicas específicas (véase el texto)	Fraccionado a intensidad elevada (15 seg-15 min)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad superior previa a situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad superior en las situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Menor tiempo de recuperación y/o mayor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada	Fraccionado a intensidad elevada (15 seg-15 min)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Mayor exigencia en la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza	Sobrecargas, resistidos y asistidos

Original de los autores.

TABLA 4.43. Los métodos de entrenamiento asociados al nivel de entrenamiento facilitado de las competiciones de BTT

	<i>Métodos</i>
Zonas metabólicas específicas (véase el texto)	Fraccionado a intensidad elevada (30 seg-15 min)
	Fraccionados y continuos de simulación de la competición
Zona metabólica de intensidad inferior previa a situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Zona metabólica de intensidad inferior en las situaciones de competición de mayor exigencia	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Mayor tiempo de recuperación y/o menor intensidad durante la recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada	Fraccionado a intensidad elevada (15 seg-15 min)
	Fraccionados y continuos que simulan la competición
Tolerancia láctica con requerimiento energético muy inferior	Fraccionado a intensidad moderada (15 seg-15 min)

Original de los autores.

Síntesis

- La mayoría de los esfuerzos continuos, que teóricamente se establece que se realizan a intensidad constante, realmente son ejecutados a intensidad variable.
- Es necesario que los entrenadores de deportistas que compiten en esfuerzos continuos conozcan las variaciones de intensidad habituales en el contexto de competición, según el tipo de campeonato y rivales, especialmente en pruebas de corta y media duración.
- En los esfuerzos continuos se requiere adaptar el entrenamiento a la variabilidad de intensidad de la competición, básicamente entrenando zonas metabólicas de mayor intensidad que la teóricamente correspondiente a la duración de la prueba. Para ello es preciso la utilización de métodos fraccionados que incidan en una zona metabólica superior, así como la aplicación de métodos que simulen la competición.
- El ciclismo de ruta requiere esfuerzos en todas las zonas metabólicas en función de la orografía del terreno y especialmente como consecuencia de las demandas de la competición.
- Aunque en el ciclismo de ruta el mayor porcentaje de tiempo se realiza en la zona de eficiencia aeróbica, las fases de la competición que requieren esfuerzos en las zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y de eficiencia anaeróbica son las más decisivas para el rendimiento.
- La capacidad de recuperación durante períodos de distinta duración es determinante para el rendimiento de un ciclista de ruta.
- La utilización de métodos de entrenamiento que inciden en la mejora de la zona de eficiencia aeróbica y de la VUan es básica en el ciclismo de ruta para afrontar en situación de menor fatiga las fases de la competición de mayor exigencia.
- Los métodos de entrenamiento que inciden en la mejora de las zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y de eficiencia anaeróbica y de sus límites fisiológicos deben utilizarse de forma aislada y con fatiga, previo trabajo en zonas de menor intensidad, siendo determinantes para la mejora del rendimiento de las fases más decisivas de la competición de ciclismo de ruta.
- La utilización de métodos fraccionados a intensidad elevada y recuperación incompleta y de los métodos que simulan la competición es determinante para mejorar la capacidad de recuperación entre esfuerzos

de elevada exigencia que requiere un ciclista de ruta.

- Aunque en las competiciones de BTT existe variación de intensidad en función de las demandas de la competición, el principal factor de variación de la intensidad es la orografía del terreno.
- Las competiciones de BTT requieren sucesivos esfuerzos de corta y media duración en las zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y eficiencia anaeróbica que se suceden con continuos períodos de recuperación de corta y media duración.
- La capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia es uno de los factores más determinantes del rendimiento en competiciones de BTT.
- El entrenamiento de deportistas que compiten en BTT debe incidir en la mejora de las zonas de eficiencia aeróbica-anaeróbica y eficiencia anaeróbica y en sus límites fisiológicos mediante la utilización de métodos continuos y fraccionados de corta y media duración ejecutados sin fatiga y con fatiga, previo trabajo en zonas metabólicas de menor y/o mayor intensidad.
- La utilización de métodos fraccionados a intensidad elevada con períodos de recuperación muy cortos y de los métodos que simulan la competición es además determinante para la mejora de la capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia requeridos en las competiciones de BTT.

Cuestionario de asimilación

1. Indica qué metodología se ha utilizado para determinar la variación habitual de intensidad en esfuerzos continuos que teóricamente podrían ejecutarse a intensidad constante.
2. Indica las causas de la variación de intensidad observada en los esfuerzos continuos que teóricamente podrían ejecutarse a intensidad constante.
3. Establece las variaciones habituales de intensidad observadas en función de la duración en los esfuerzos continuos que teóricamente podrían ejecutarse a intensidad constante.

- 4.** Explica qué consecuencias tiene para la metodología del entrenamiento las variaciones habituales de intensidad observadas en función de la duración en los esfuerzos continuos que teóricamente podrían ejecutarse a intensidad constante.
- 5.** Justifica las limitaciones que tiene para el rendimiento un deportista con elevada VAM si compite en una prueba de 4 min en la que se objetiva una relativa baja velocidad inicial y una relativa elevada velocidad en la parte final.
- 6.** Indica qué metodología se ha utilizado para determinar las zonas metabólicas requeridas en los esfuerzos continuos de intensidad variable.
- 7.** Establece las diferencias en determinar la variación de intensidad en los esfuerzos continuos de intensidad variable mediante la FC y la potencia.
- 8.** Justifica por qué la mayor parte de una etapa de ciclismo de ruta se desarrolla en la zona de eficiencia aeróbica.
- 9.** Justifica la necesidad de desarrollar todas las zonas metabólicas en un ciclista de ruta.
- 10.** Establece la relación entre el nivel de entrenamiento específico y los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado en el ciclismo de ruta.
- 11.** Identifica posibles causas de variación entre estudios en el porcentaje de tiempo que un ciclista desarrolla en las distintas zonas metabólicas.
- 12.** Indica en qué tipo de esfuerzos ejecutados a intensidad variable puede ser más erróneo determinar las zonas metabólicas mediante el análisis de la FC.
- 13.** Establece las diferencias que deben considerarse en la metodología del entrenamiento para desarrollar la eficiencia anaeróbica requerida en un esfuerzo máximo continuo de 4 min ejecutado a intensidad constante y en el ciclismo de ruta.
- 14.** Indica qué factor de rendimiento puede determinar que un sujeto que es el mejor en una cronoescalada de 15 km no lo sea subiendo ese mismo puerto después de 200 km previos.
- 15.** Establece la relación entre capacidad de eliminación de lactato y el rendimiento en una subida de un puerto en una etapa ciclista.

- 16.** Justifica la concentración de lactato esperada en una competición de ciclismo de ruta y en una competición de BTT.
- 17.** Establece la metodología del entrenamiento para desarrollar la capacidad de recuperación entre esfuerzos requerida en una competición de BTT.
- 18.** Indica las diferencias en la interpretación de las zonas metabólicas entre una competición de ciclismo de ruta y una competición de BTT.

Resistencia en los esfuerzos intermitentes

Alejandro Legaz-Arrese, Juan José Molina
Martín, María Teresa Gómez López

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer la variedad de modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de esfuerzos intermitentes.
- Comprender que la elevada variabilidad del contexto en que se ejecutan los esfuerzos intermitentes requiere un análisis específico de la motricidad que caracteriza a cada modalidad deportiva.
- Conocer las principales variables motrices que se determinan para establecer la exigencia de resistencia de los distintos esfuerzos intermitentes y su aplicabilidad práctica para definir una metodología de entrenamiento diferenciada.
- Conocer la aplicabilidad y las limitaciones de los análisis fisiológicos de la competición en las modalidades deportivas caracterizadas por esfuerzos intermitentes y las de los análisis que simulan su esfuerzo en el laboratorio.
- Conocer sobre la base del análisis metabólico y motor los factores que determinan la optimización de la resistencia en los esfuerzos intermitentes.
- Comprender las características que definen los distintos niveles de entrenamiento requeridos para optimizar el rendimiento de un esfuerzo intermitente.
- Comprender la adecuación de los distintos métodos de entrenamiento al desarrollo de la resistencia requerida en los esfuerzos intermitentes.
- Conocer el estado actual y las limitaciones de la investigación asociada a la programación del entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes.
- Diseñar, sobre la base del conocimiento actual, programas de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia requerida en las distintas modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de esfuerzos intermitentes.

Índice

4.1. Análisis de la motricidad y de las variaciones de intensidad

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Relación trabajo/pausa del tiempo total de competición
- Frecuencia relativa de los intervalos de tiempo de trabajo/tiempo de pausa
- Frecuencia relativa de intensidad del esfuerzo
- Análisis de las acciones ejecutadas a intensidad elevada
- 4.2. Análisis fisiológico
- 4.3. Metabolismo
- 4.4. Factores de rendimiento
- 4.5. Metodología del entrenamiento en los esfuerzos intermitentes
 - Métodos que simulan la competición
 - Métodos que no simulan la competición
 - Aplicación de los métodos de entrenamiento
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

Se incluyen en los **esfuerzos intermitentes** las modalidades deportivas que se caracterizan por la alternancia de acciones motrices de corta duración ejecutadas a una intensidad elevada con fases de baja intensidad que permiten una recuperación activa y/o pasiva. A diferencia de los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad variable, los esfuerzos intermitentes están asociados a una mayor frecuencia de situaciones de competición de mayor exigencia, que requieren además una mayor intensidad desarrollada durante un tiempo significativamente inferior. Globalmente, esto implica una **aplicación intermitente de la fuerza**, que ha sido definida con el concepto **resistencia a la fuerza**. Además, los esfuerzos intermitentes se caracterizan por una amplia variedad de acciones motrices, que en la mayoría de las modalidades deportivas se presentan de forma aleatoria y en combinación con una elevada dificultad de los procesos informacionales. Son numerosas las modalidades deportivas que con unos condicionantes muy distintos pueden ser incluidas como esfuerzos intermitentes (tabla 4.44).

TABLA 4.44. Clasificación de modalidades deportivas caracterizadas por esfuerzos intermitentes

Deportes de equipo	Fútbol, fútbol sala, rugby, baloncesto, balonmano, waterpolo, hockey sobre hielo, hockey sobre patines, hockey sobre hierba, voleibol, etc.
Deportes de raqueta	Tenis, tenis de mesa, frontón, bádminton, squash, pádel, etc.
Deportes de combate	Lucha, judo, karate, esgrima, taekwondo, boxeo, etc.
Deportes compositivos	Gimnasia rítmica, gimnasia deportiva, patinaje artístico, natación sincronizada, aeróbic, etc.
Otros esfuerzos intermitentes	Escalada, vela, motociclismo, etc.

Original de los autores.

No es el objetivo de este apartado realizar un análisis específico de cada una de las modalidades deportivas. Sin embargo, el nivel de reflexión planteado a partir de distintos estudios nos permite establecer las principales directrices metodológicas del entrenamiento de los esfuerzos intermitentes. Mediante estos conocimientos el lector podrá adquirir el nivel de reflexión

suficiente para la aplicación específica de un programa de entrenamiento adecuado para todas las modalidades deportivas incluidas en los esfuerzos intermitentes. Los límites temporales fisiológicos y mecánicos determinantes de la resistencia y el análisis fisiológico de la competición nos han permitido establecer los distintos niveles de entrenamiento de los esfuerzos continuos de distinta duración ejecutados a intensidad constante y variable. Este análisis es mucho más complejo en los esfuerzos intermitentes debido, entre otros factores, a la gran variabilidad de acciones motrices, a su duración y a su intensidad. En consecuencia, además de un análisis fisiológico de la competición, es necesario realizar un análisis de parámetros asociados a la motricidad con el fin de establecer las directrices metodológicas más apropiadas para el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento de los esfuerzos intermitentes. Por este motivo, inicialmente se reflexiona sobre en qué medida los parámetros obtenidos mediante el análisis de la competición son de utilidad para la programación del entrenamiento de los esfuerzos intermitentes. Posteriormente se relaciona el análisis motor con el análisis fisiológico de la competición para determinar el metabolismo y los factores asociados a la optimización del rendimiento de los esfuerzos intermitentes. Finalmente, con toda la información aportada se establece la metodología de entrenamiento de los esfuerzos intermitentes asociada a los distintos niveles de entrenamiento.

4.1. Análisis de la motricidad y de las variaciones de intensidad

El **análisis de la competición** en los esfuerzos intermitentes tiene numerosas aplicaciones prácticas (véase el apartado 4 del capítulo 6). El desarrollo de las tecnologías ha permitido analizar la competición de los esfuerzos intermitentes determinando un mayor número de variables con mayor precisión y rapidez. De hecho, en determinadas modalidades deportivas este análisis se realiza en el transcurso de la competición para introducir modificaciones que permitan optimizar el rendimiento. En la bibliografía internacional muchos estudios establecen con rigor científico numerosas variables asociadas al contexto de competición de los esfuerzos intermitentes. La mayoría de los trabajos analizan distintas características de los deportes de equipo de interacción directa y de los deportes de raqueta, siendo escasa o

inexistente la información sobre otras modalidades deportivas. En este apartado se reflexiona de forma específica únicamente sobre las variables del análisis de la competición que pueden tener una relación directa con la programación del entrenamiento, fundamentalmente la frecuencia, duración e intensidad de las acciones motrices ejecutadas con distinto nivel de exigencia.

Relación trabajo/pausa del tiempo total de competición

Muchas modalidades deportivas clasificadas como esfuerzos intermitentes se caracterizan porque existen fases de interrupción de la acción de competición. Estas interrupciones permiten una **recuperación pasiva** del deportista. La interrupción de la competición es variable en función de las distintas modalidades deportivas. En determinadas modalidades hay interrupciones de la acción de competición que se producen siempre en el mismo momento y que tienen una duración fija determinada por el reglamento. Éste es el caso de las distintas partes en que se divide la competición en los deportes de equipo, los descansos entre servicios y juegos en los deportes de raqueta, los descansos entre combates, etc. En algunas modalidades deportivas, los descansos en la acción de competición pueden tener una duración fija o variable y sucederse en determinados momentos en función de la decisión del entrenador. Éste es el caso de los “tiempos muertos” solicitados por el entrenador y del cambio de competidores que permiten algunos deportes. La interrupción de la acción de competición de una duración variable también se asocia a la aplicación del reglamento por el juez o el árbitro (p. ej. faltas, lesiones, saques de banda, etc.).

Las interrupciones determinan que el tiempo real de trabajo sea significativamente inferior al tiempo total de competición. La valoración del porcentaje relativo de trabajo y de pausa constituye el parámetro más básico del análisis de la competición en la mayoría de los esfuerzos intermitentes. Como ejemplo, se representa en la figura 4.91 un análisis del porcentaje relativo de tiempo efectivo de juego en función del sexo y el tipo de superficie en partidos oficiales de tenis (Dal Monte y Faina, 1999).

El conocimiento de la **relación trabajo/pausa de la globalidad de la competición** tiene poca utilidad práctica, pero nos permite establecer las primeras pautas básicas del entrenamiento de los esfuerzos intermitentes. En la mayoría de los esfuerzos intermitentes la competición requiere un esfuerzo físico real de una duración muy inferior a la establecida por el reglamento.

Además, este esfuerzo no se realiza de forma continuada, sino que se alterna con períodos de tiempo de pausa pasiva que permiten al deportista un cierto grado de recuperación. Atendiendo a este análisis sencillo, ya podemos establecer que, al menos teóricamente, **no son adecuados los métodos que requieren un esfuerzo continuo**. Aunque esta reflexión es aparentemente lógica, no deja de tener importancia si consideramos la gran influencia que han tenido los métodos de trabajo asociados al desarrollo de la resistencia de los esfuerzos continuos sobre el desarrollo de la resistencia en los esfuerzos intermitentes.

La comparación relativa de la relación trabajo/pausa de la globalidad de la competición de diferentes modalidades deportivas puede servir de orientación del nivel de exigencia de la resistencia requerida en cada deporte. Así, en el ejemplo mostrado cabe esperar que el nivel de resistencia requerido en el tenis sea significativamente superior en las mujeres y en la superficie de tierra batida. A este respecto, en la comparación entre diferentes estudios es necesario observar el método utilizado por los autores. Es habitual encontrar estudios con criterios diferenciados del tiempo de pausa, como, por ejemplo, incluir o no los descansos entre las distintas partes en que se divide la competición. Además, hay que considerar que un deporte con menor tiempo relativo real de competición puede estar asociado a fases con un mayor nivel de exigencia. Es necesario, en consecuencia, un análisis de la competición más detallado para disponer de datos que permitan una aproximación más adecuada a la metodología de entrenamiento de los esfuerzos intermitentes.

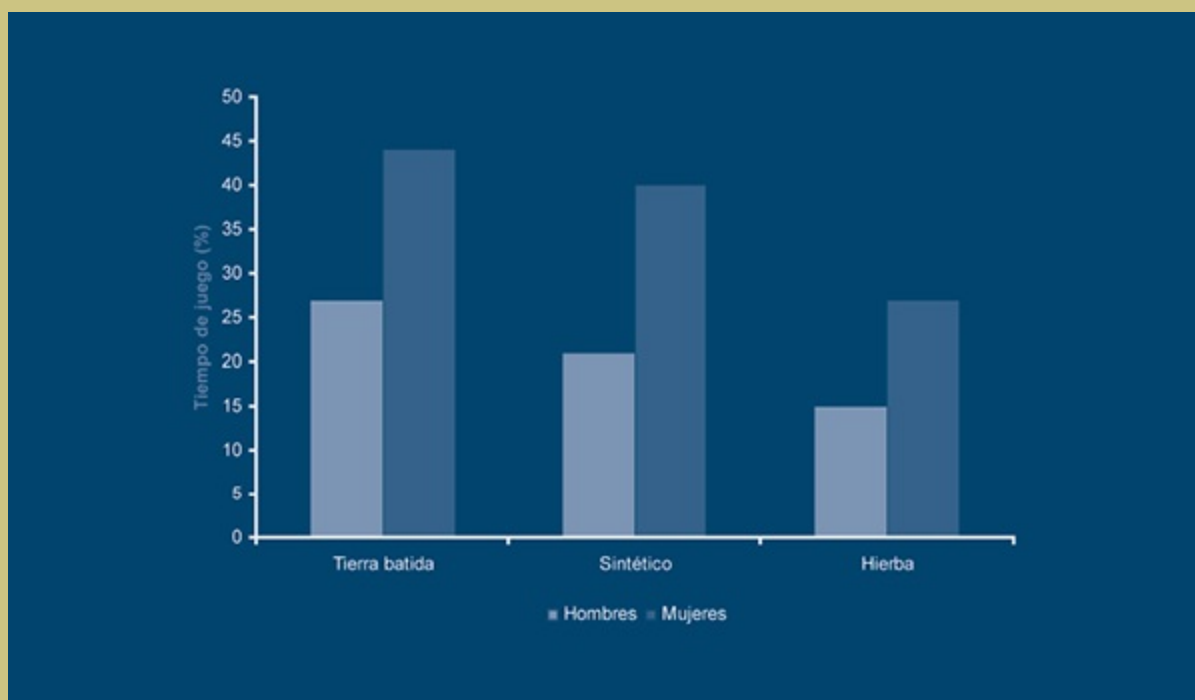


FIGURA 4.91. Porcentaje relativo del tiempo de trabajo en función del sexo y del tipo de superficie en tenistas italianos de alto nivel. Las pausas que caracterizan los esfuerzos intermitentes, en este caso el tenis, determinan que el tiempo de trabajo sea inferior al tiempo de competición. Diferentes factores influyen en el porcentaje de tiempo de trabajo, en este ejemplo el sexo y la superficie de juego.

Elaborado con datos de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

Frecuencia relativa de los intervalos de tiempo de trabajo/tiempo de pausa

La frecuencia, la duración y el momento de las interrupciones de la acción de competición son variables entre las distintas modalidades deportivas y durante el desarrollo de la competición de un esfuerzo intermitente. En consecuencia, un análisis más específico implica conocer para cada modalidad deportiva la **frecuencia relativa de distintos intervalos de tiempo de trabajo y de tiempo de pausa**. Como ejemplo se muestra el análisis realizado en bádminton por Cabello y González Badillo (2003) (figura 4.92). El primer aspecto de interés es que, si bien existe una gran variabilidad en el tiempo de trabajo y en el tiempo de pausa, ambos parámetros suelen ser de corta duración. También se ha observado una

duración promedio continuada de trabajo corta en la mayoría de los esfuerzos intermitentes caracterizados por interrupciones de la acción de competición. Este tipo de análisis nos permite establecer diferencias entre deportes; por ejemplo, la duración de juego es significativamente menor en el tenis, rugby (Dal Monte y Faina, 1999) y bádminton (Cabello y González Badillo, 2003) que en el balonmano (Dal Montey Faina, 1999) y baloncesto (Barrios, 2002). Desde una perspectiva práctica, estos datos indican que para la optimización del rendimiento en este tipo de esfuerzos intermitentes, además de que no son de aplicación los métodos de trabajo que requieren un esfuerzo continuado, **tampoco son adecuados los métodos fraccionados con una duración media y larga de las repeticiones.**

A pesar de que este nivel de reflexión pueda considerarse básico, un reciente estudio demuestra que estos métodos de entrenamiento son habitualmente utilizados para optimizar la resistencia en los deportes de equipo (Moliner, 2008). Además, los **breves períodos de pausa activa y/o pasiva** observados en la mayoría de los esfuerzos intermitentes determinan teóricamente que para la optimización de la resistencia en estos deportes **no son adecuados los métodos fraccionados de corta duración con descanso completo entre las repeticiones.**

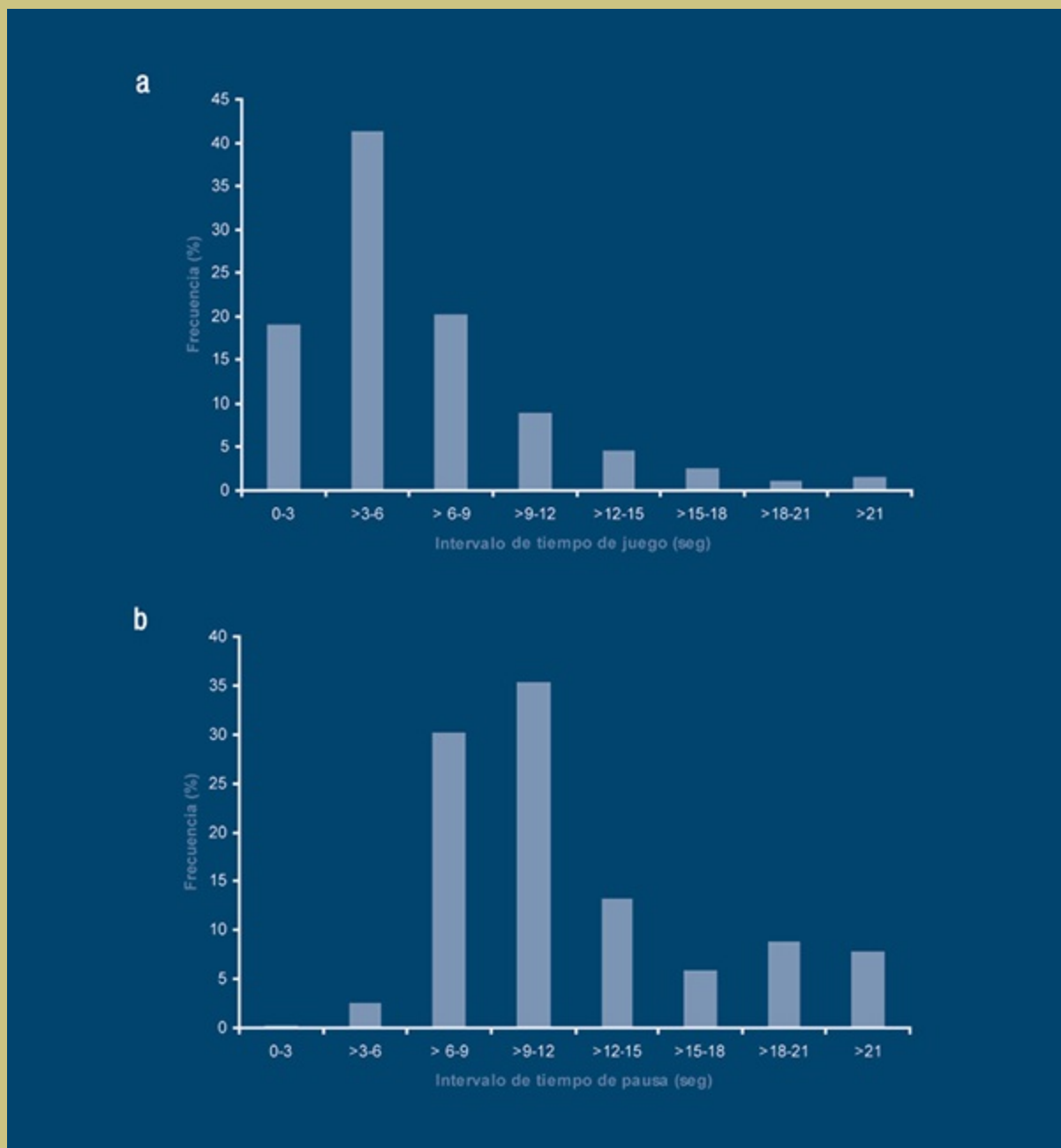


FIGURA 4.92. Frecuencia relativa de distintos intervalos de duración de las acciones de competición (a) y de las pausas (b) en bádminton. Aunque la duración continuada de competición y de las pausas es variable en los esfuerzos intermitentes, en este caso bádminton, predomina una duración relativamente corta. Obsérvese la variedad de factores que influyen en la duración de las acciones de competición y de pausa en las distintas modalidades deportivas.

Adaptado de Cabello Manrique D y González-Badillo JJ. Br J Sports Med 2003;37:62-6.

La **densidad de trabajo** de un esfuerzo intermitente establece la relación entre la duración promedio de las acciones de competición sin interrupción y la duración promedio de las pausas. Por ejemplo, la densidad de trabajo en el bádminton es 0,49 (6,4/12,9 seg) (Cabello y González-Badillo, 2003), en el tenis, 0,45 (7,5/16,5 seg) (Fernández *et al.*, 2005) y 0,39 (6,0/15,3) (Kovacs, 2004), respectivamente para superficie de tierra o sintética, y en el rugby, 0,21 (7,9/37,6) (Dal Monte y Faina, 1999). Este dato puede servir como indicador comparativo del nivel de exigencia de resistencia entre diferentes modalidades deportivas. Sin embargo, **no es de utilidad** para programar los entrenamientos de resistencia de los esfuerzos intermitentes. Se debe considerar un error establecer series de repeticiones de una duración y pausa equiparables al promedio establecido en el análisis de la competición. Hay que considerar que el promedio lógicamente no refleja el mayor nivel de exigencia que requiere la competición.

Pero fundamentalmente estos datos no aportan información alguna sobre la intensidad que desarrolla el deportista en las acciones de competición. Así, por ejemplo, el jugador de bádminton no está los 13 seg que como promedio dura la acción de juego desarrollando la máxima intensidad. Este hecho es todavía más evidente en un deporte de equipo en el que un jugador está parado o desarrolla una intensidad relativa muy baja en numerosas acciones de competición. Se requiere, en consecuencia, un análisis de la competición de los esfuerzos intermitentes más específico, que permita establecer el nivel de intensidad desarrollado por los deportistas.

Frecuencia relativa de intensidad del esfuerzo

La mayoría de las modalidades deportivas clasificadas como esfuerzos intermitentes se caracterizan, además de por las interrupciones de la acción de competición, por la continua variación del tipo de movimiento o actividad realizados por el deportista. Por ejemplo, un deportista cambia de tipo de movimiento como promedio cada 5,5 seg en hockey sobre hierba (Spencer *et al.*, 2004), cada 4 seg en fútbol (Krustrup *et al.*, 2005) y cada 2 seg en baloncesto (McInnes *et al.*, 1995). El cambio del tipo de movimiento o de actividad está asociado a un cambio de dirección y de intensidad del esfuerzo. Además, varían la frecuencia y la duración de los distintos tipos de movimiento. En hockey sobre hierba, por ejemplo, caminar y trotar son los movimientos más frecuentes y de mayor duración, mientras que los

realizados a una intensidad elevada son menos frecuentes y prolongados (Spencer *et al.*, 2004). El análisis de la frecuencia y duración de los movimientos a distintas intensidades permite establecer para las diferentes modalidades deportivas la **frecuencia relativa de intensidad del esfuerzo** o porcentaje de tiempo que el deportista realiza a distintas intensidades. Como ejemplo, se muestra un análisis para hockey sobre hierba en el que se observa que en la mayor parte del tiempo de competición sin interrupción los jugadores realizan movimientos a una intensidad baja (figura 4.93). Similares resultados se observan en otros deportes de equipo como fútbol (Krustrup *et al.*, 2005), fútbol sala (Castagna *et al.*, (2009), baloncesto (McInnes *et al.*, 1995), balonmano y rugby (Dal Monte y Faina 1999).

Este nuevo análisis de la competición, que determina la intensidad que desarrolla cada deportista, únicamente nos confirma que durante el tiempo de acción de competición existe una gran variabilidad en la intensidad del esfuerzo, que los cambios de intensidad se suceden cada pocos segundos y que el deportista, probablemente debido a la regulación del esfuerzo, realiza pocas acciones a intensidad muy elevada. Además, mediante este análisis se determina la duración promedio de las acciones ejecutadas a diferentes intensidades (por ejemplo, las acciones ejecutadas a máxima intensidad son habitualmente inferiores a 5 seg; véanse detalles en las siguientes páginas) y cuántas veces el deportista realiza una acción a máxima intensidad, determinando la recuperación promedio entre acciones de exigencia elevada. Desde una perspectiva práctica este análisis sugiere que la duración de las repeticiones a máxima intensidad en el entrenamiento de resistencia de los esfuerzos intermitentes debe ser muy breve, habitualmente inferior a 5 seg, y adaptada a la motricidad específica de cada deporte, y que el período de recuperación debe ser activo sometiendo al deportista a estímulos de distinta intensidad (parado, caminando, trotando y a intensidad submáxima). Sin embargo, estos son datos promedio y, en consecuencia, la frecuencia relativa de intensidad del esfuerzo **no define las características de las fases de la competición de mayor exigencia**. Este análisis tampoco determina si realmente la intensidad que desarrolla el deportista está influida por su capacidad de resistencia. Es necesario, por tanto, un análisis más específico de las acciones que se ejecutan a intensidad elevada, incidiendo especialmente en las fases de la competición de mayor exigencia.

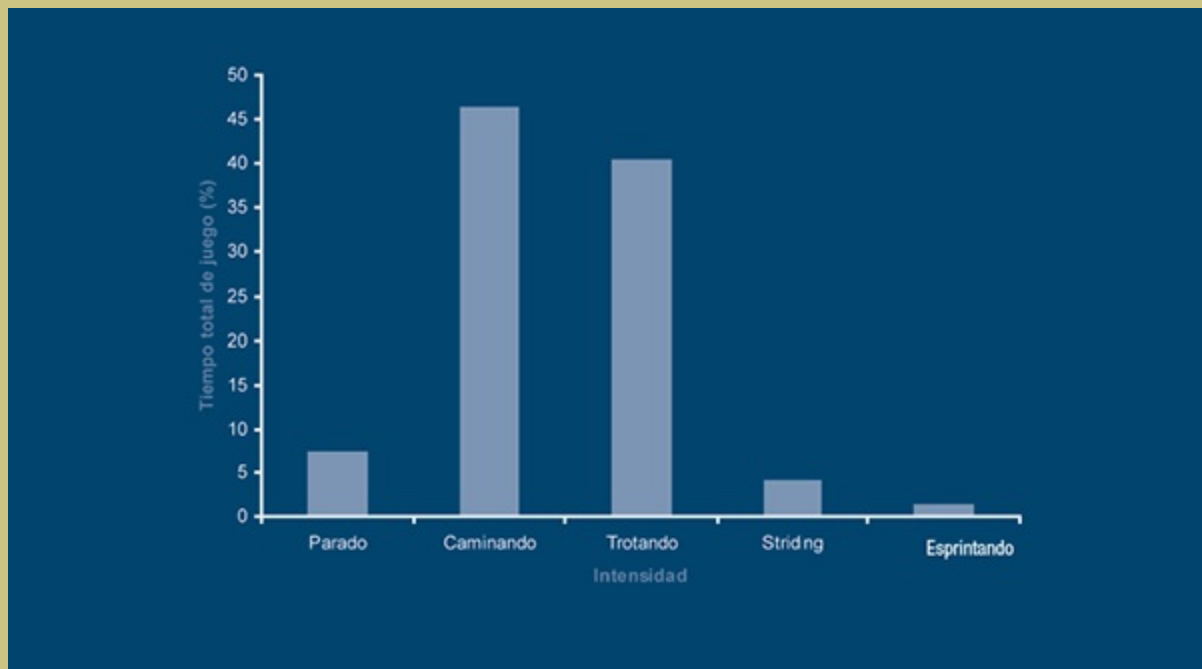


FIGURA 4.93. Porcentaje de tiempo a distintas intensidades en hockey sobre hierba. Los deportes de equipo, en este caso hockey sobre hierba, se caracterizan porque la mayoría de las acciones de competición se ejecutan a una intensidad relativamente baja. Sin embargo, las acciones ejecutadas a intensidad elevada pueden ser determinantes para el rendimiento.

Elaborado con datos de Spencer M et al. J Sports Sci 2004;22:843-50.

Análisis de las acciones ejecutadas a intensidad elevada

A pesar de que en la mayoría de los esfuerzos intermitentes, como son los deportes de equipo, las **acciones de exigencia elevada** representan un bajo porcentaje del tiempo total de competición, estas acciones se consideran **relevantes para el rendimiento**. Las acciones motrices a máxima intensidad en estos deportes se caracterizan por continuas aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección, blocajes, saltos, golpeos, lanzamientos, etc. Estas acciones permiten crear situaciones de ventaja en la competición e incluso la consecución de objetivos parciales de rendimiento. También las acciones realizadas a máxima intensidad, o con mayor nivel de exigencia, pueden ser relevantes para el rendimiento en otros esfuerzos intermitentes como los deportes de raqueta, de combate, compositivos, vela, escalada, etc. Dada su importancia para el rendimiento, es necesario un

análisis de la competición asociado a las acciones ejecutadas a intensidades elevadas. A este respecto, sólo en algunas modalidades deportivas se han descrito variables asociadas a las acciones de mayor exigencia, siendo además la información aportada incompleta para una correcta definición del programa de entrenamiento de resistencia.

El primer aspecto que debe definirse en todos los esfuerzos intermitentes son las **acciones motrices que están limitadas en su rendimiento por la capacidad de resistencia.** Esto implica determinar en el análisis de la competición si realmente la velocidad, frecuencia y precisión de una acción motriz disminuyen en el transcurso de la competición.

Es probable que en la mayoría de los esfuerzos intermitentes el tiempo de recuperación que tiene el deportista entre las acciones de mayor exigencia sea insuficiente para mantener la velocidad, frecuencia y precisión de estas acciones relevantes para el rendimiento. Sin embargo, no disponer de esta información implica que ni siquiera podemos conocer las modalidades deportivas en las que es necesario incidir en la optimización de la resistencia ni, lógicamente, en qué acciones motrices de una modalidad deportiva la resistencia puede optimizar el rendimiento. Por ejemplo, se desconoce si el tiempo de recuperación entre diferentes combates es suficiente para mantener el nivel de rendimiento. Es posible que en algunas modalidades deportivas la fatiga esté asociada a una menor velocidad de desplazamiento, pero no a una menor velocidad de lanzamiento. En este caso, es posible que el deportista mantenga la velocidad de lanzamiento pero no el nivel de precisión. Tampoco se sabe en qué medida la fatiga puede limitar la altura de los últimos saltos en un deporte compositivo o la precisión de la conducción en los deportes de motor. Probablemente la disminución de la velocidad, frecuencia y precisión de las acciones difiera asimismo significativamente entre diferentes deportistas, entre deportistas con diferentes funciones y en función de numerosos condicionantes como rivales, estrategias, etc. Hasta la fecha, los investigadores han centrado la atención en determinar una disminución de los valores de fuerza explosiva del tren inferior al finalizar la competición en deportes como squash (Girard *et al.*, 2009), fútbol (Thorlund *et al.*, 2009; Kellis *et al.*, 2006) y baloncesto (Thorlund *et al.*, 2008), y en determinar la distancia recorrida a una intensidad elevada entre diferentes tiempos parciales de la competición (véanse las páginas siguientes).

Para orientar el trabajo de resistencia en los esfuerzos intermitentes, es necesario conocer también los motivos por los que disminuyen en la

competición la frecuencia y eficacia de las acciones motrices de intensidad elevada. Una velocidad y frecuencia menores de las acciones motrices de mayor exigencia se suelen asociar a procesos metabólicos y neuromusculares. Sin embargo, el nivel de precisión de las acciones motrices puede disminuir también como consecuencia de una fatiga psicológica asociada al nivel de concentración y/o una fatiga de los procesos informacionales. Por ejemplo, mediante la valoración del SJ y el CMJ, Girard *et al.*, (2006a) mostraron que 3 h de un partido de tenis no altera los niveles de fuerza explosiva de las extremidades inferiores. Sin embargo, la fatiga en tenis es inherente a una pérdida de precisión en los golpes y el servicio (Davey *et al.*, 2002).

De especial relevancia es también conocer en qué momento de la competición el nivel de resistencia de los deportistas es insuficiente para mantener el nivel de intensidad y eficacia de las acciones motrices. Este análisis, además de permitir orientar con mayor precisión el programa de entrenamiento de resistencia, establece criterios objetivos temporales para realizar los cambios de competidores en los deportes que lo permite el reglamento. También

es útil conocer el tiempo requerido para que el deportista recupere su nivel de intensidad, frecuencia y precisión en las acciones motrices. Por ejemplo, se ha observado en waterpolo que a menor tiempo de juego los deportistas manifiestan una FC y una concentración de lactato más elevadas, así como un incremento de las acciones realizadas a intensidad elevada (Platanou y Geladas, 2006). Castagna *et al.*, (2009) establecen que para el fútbol sala un período de juego de 10 min y 5 min de descanso puede ser una estrategia adecuada para mantener una intensidad elevada durante toda la competición. En definitiva, aunque actualmente se dispone de la tecnología adecuada, son numerosas las preguntas asociadas a la resistencia de la mayoría de los esfuerzos intermitentes que la literatura científica todavía no ha resuelto.

No obstante, algunos estudios han focalizado su atención en describir la evolución de las acciones de elevada exigencia en el transcurso de la competición. Se ha demostrado que en fútbol masculino (Mohr *et al.*, 2003) y femenino (Krustrup *et al.*, 2005) la distancia recorrida a una intensidad elevada disminuye aproximadamente un 30% en los últimos 15 min de cada parte de la competición. Bradle *et al.*, (2009) mostraron que las acciones ejecutadas con y sin balón a intensidad elevada ($>14,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) disminuyen progresivamente durante el transcurso de cada tiempo, siendo el descenso más acusado en la segunda parte (figura 4.94). Una disminución de las

acciones de elevada intensidad en un partido de fútbol se ha observado también en la Serie A de la Liga Italiana (Rampinini *et al.*, 2009). Lo interesante de este estudio es que se encontró una asociación entre la disminución del rendimiento físico y la eficacia de diferentes acciones técnicas. Además, los autores observaron que los 5 equipos mejor clasificados respecto a los 5 equipos peor clasificados presentaban, además de una mayor eficacia en las acciones técnicas, un mayor número de acciones a elevada intensidad con balón. Sin embargo, la distancia total recorrida y las acciones a máxima intensidad sin balón fueron superiores en los equipos peor clasificados. En similar aproximación, en un análisis sobre la Premier League (Di Salvo *et al.*, 2009) también se observó que los equipos mejor clasificados recorrían menor distancia a intensidad elevada, lo que sugiere que la efectividad técnica y táctica puede ser más importante para el rendimiento en el fútbol. Probablemente estos resultados están asociados a diferencias en la posesión del balón entre los equipos mejor y peor clasificados. Además, la distancia recorrida por un equipo de fútbol será mayor cuanto mayor sea el nivel de rendimiento del equipo rival (Rampinini *et al.*, 2007). Kellis *et al.*, (2006) también demostraron que el rendimiento en la calidad de ejecución de distintas acciones motrices de fútbol está asociado con el nivel de fatiga. Globalmente, los resultados encontrados en estos estudios determinan que los equipos con mayor dominio motor e informacional pueden afrontar la parte final de la competición con menor fatiga, lo cual por una parte incrementa la posibilidad de que estos equipos realicen con mayor frecuencia acciones a intensidad elevada y de mayor intensidad, y también permite, como consecuencia de la menor fatiga, una mayor eficacia motriz e informacional. Esto sugiere que el entrenamiento motor e informacional es probablemente una de las principales vías de optimización del rendimiento de resistencia en la mayoría de los esfuerzos intermitentes. Una disminución de las acciones de intensidad elevada en la segunda parte se ha observado en otros deportes como fútbol sala (Castagna *et al.*, 2009). En hockey sobre hierba, sin embargo, Spencer *et al.*, (2004) no encontraron diferencias en el porcentaje de tiempo en que se ha jugado a intensidad elevada ni entre las dos partes en que se divide la competición, ni tampoco entre los primeros y los últimos minutos de cada parte. Los autores, en cambio, observaron que especialmente en la segunda parte se incrementa en los últimos minutos el porcentaje de tiempo que el deportista está parado o caminando y disminuye el porcentaje de tiempo en que se ha jugado a intensidad baja y submáxima. Además, como

se ha especificado posteriormente, otros datos aportados en este estudio sugieren indirectamente que el nivel de fatiga determina la frecuencia de acciones motrices a intensidad elevada. En esta línea, Bradley *et al.*, (2009) observaron que en los partidos de fútbol, además de disminuir significativamente el número de acciones realizadas a intensidad elevada conforme aumenta la duración del esfuerzo, también se incrementa el tiempo de recuperación entre las acciones ejecutadas a intensidad muy elevada ($>19,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (figura 4.95). Sin embargo, esta dinámica no ocurre en todas las competiciones y/o en todos los jugadores. Así, Rampinini *et al.*, (2007) mostraron que la distancia total y el juego desarrollado a elevada y muy elevada intensidad en la primera parte de un partido de fútbol influyen significativamente en las tres variables en el segundo tiempo. Estos resultados indican que el descenso habitual de estas variables en la segunda parte de un partido de fútbol no es sistemático, sino que es dependiente de la actividad que se ha realizado en la primera parte. Ciertamente, la regulación del esfuerzo puede ser uno de los principales factores determinantes para el rendimiento en los esfuerzos intermitentes en los que las acciones ejecutadas a intensidad elevada pueden estar limitadas por la fatiga. La posibilidad de que el deportista regule su esfuerzo difiere entre las distintas modalidades deportivas. Así, debido a las dimensiones del terreno de competición y al menor número de jugadores, en los deportes de equipo que se disputan en un terreno de competición más pequeño (p. ej., fútbol sala, balonmano, baloncesto), las posibilidades que tiene el deportista de regular su esfuerzo es probablemente menor que en los deportes de equipo que se disputan en terrenos de competición más grandes (p. ej., fútbol, hockey sobre hierba, rugby). En los deportes de equipo disputados en terrenos de competición más pequeños, la regulación del esfuerzo la determinan prioritariamente las posibilidades que establece el reglamento de cambiar continuamente a los competidores. Éste es un aspecto que deben considerar especialmente los entrenadores de estos deportes para limitar en la medida de lo posible la disminución de la intensidad en la parte final de la competición. La regulación del esfuerzo en los deportes de raqueta está determinada prioritariamente por el intervalo de tiempo de recuperación pasiva que permite el reglamento entre puntos, juegos y sets. En cambio, en los deportes de combate las posibilidades de regulación del esfuerzo son escasas, y en los deportes compositivos son nulas debido a que la coreografía está determinada previamente a la competición.

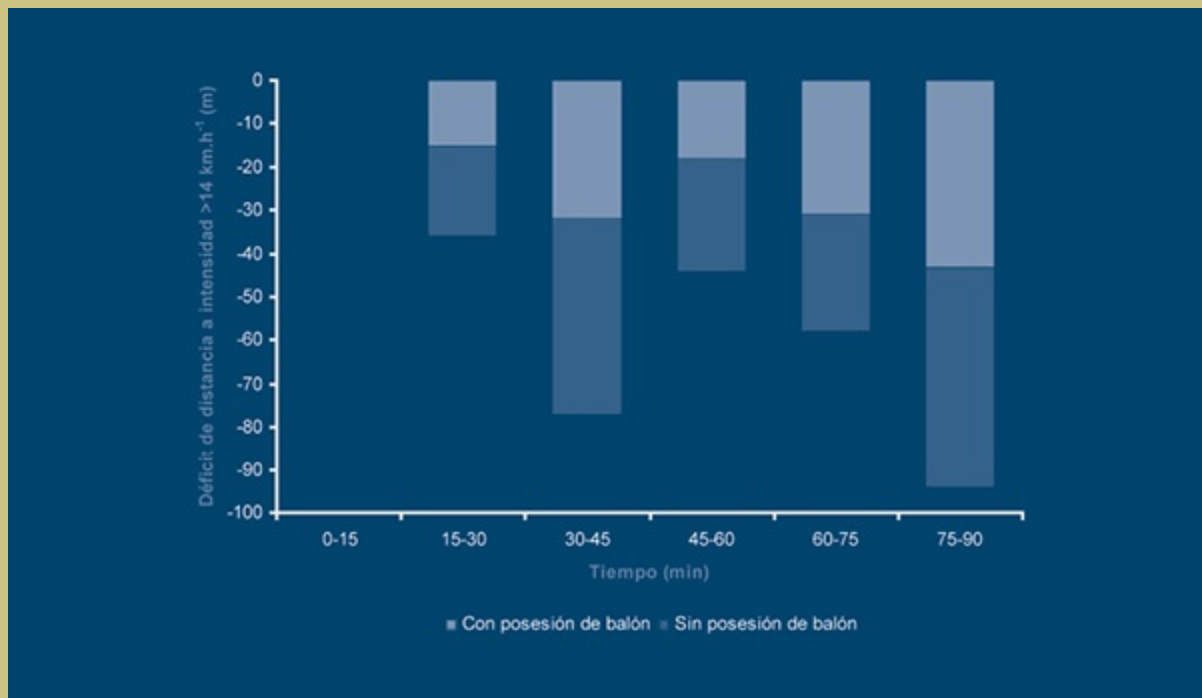


FIGURA 4.94. Disminución respecto a los primeros 15 min de la distancia recorrida a elevada intensidad ($>14,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en partidos de fútbol de la Premier League. La distancia recorrida a intensidad elevada disminuye con la duración del esfuerzo, y el período que transcurre entre las dos partes del partido no es suficiente para permitir la recuperación de los deportistas.

Adaptado de Bradley PS et al. J Sports Sci 2009;27:159-68.

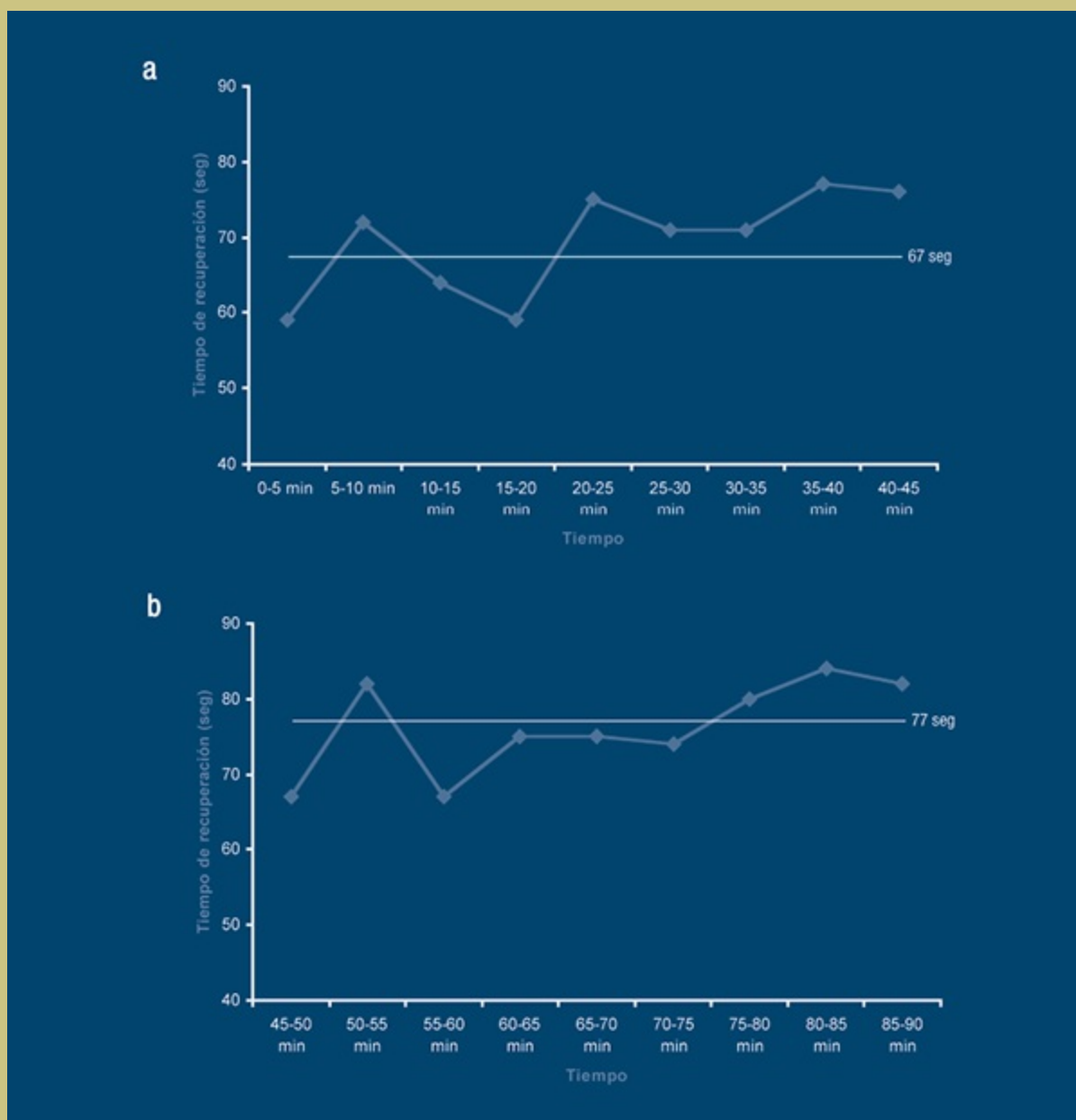


FIGURA 4.95. Evolución del período de recuperación entre acciones de muy elevada intensidad ($>19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) en partidos de fútbol de la Premier League: 1ª parte (a) y 2ª parte (b). El tiempo que transcurre entre acciones ejecutadas a intensidad muy elevada se incrementa con la duración del esfuerzo y es superior en la 2ª parte.

Adaptado de Bradley PS et al. J Sports Sci 2009;27:159-68.

Conocer si la velocidad, la frecuencia y la precisión de las acciones motrices disminuyen en el transcurso de la competición de un esfuerzo intermitente únicamente nos sirve de referencia para establecer como objetivo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de trabajo el desarrollo de la resistencia y plantear estrategias de regulación del esfuerzo. Sin embargo, estos parámetros no son útiles para definir los componentes del entrenamiento de resistencia.

El primer aspecto que es necesario conocer para reorientar el trabajo específico de resistencia en los esfuerzos intermitentes es la **duración de las acciones motrices ejecutadas a intensidad elevada**. En acciones motrices como saltos, lanzamientos, golpes y blocajes, y en los movimientos acíclicos de las extremidades superiores e inferiores en deportes de combate, sólo es posible manifestar fuerza durante milisegundos. La duración del esfuerzo también es breve en otras acciones motrices características de los deportes de combate (p. ej., agarres, empujones y levantamientos). La duración promedio de los desplazamientos realizados a máxima intensidad en los deportes de equipo es inferior a 2,5 seg: 2,3 seg en fútbol (Krustrup *et al.*, 2005); 1,9 seg en fútbol sala (Castagna *et al.*, 2009); 1,8 seg en hockey sobre hierba (Spencer *et al.*, 2004), y 1,7 seg en baloncesto (McInnes, 1995). Fernández *et al.*, (2006) establecieron que los tenistas realizan un desplazamiento promedio de ~ 3 m en cada golpeo, para un total de 8-12 m con 4 cambios de dirección en la disputa de un punto. Hay que considerar, sin embargo, que en muchos golpes los tenistas no necesitan la máxima intensidad de desplazamiento. En ~ 10% de los golpes el tenista tiene que realizar un desplazamiento sobre la posición de base superior a 4 m, lo que determina la necesidad de adoptar movimientos rápidos de carrera (Fernández *et al.*, 2006). Esta distancia lógicamente determina una duración muy corta del esfuerzo. Aunque no hay análisis específicos, la duración de los desplazamientos en otros deportes de raqueta como el bádminton, el squash y el pádel es significativamente inferior. También es habitual una duración corta del esfuerzo en las acciones motrices específicas realizadas en otros esfuerzos intermitentes como los deportes compositivos. Además del promedio, es interesante conocer la duración máxima de los esfuerzos ejecutados a una intensidad elevada. A este respecto, en los deportes que por las características del terreno de competición es posible realizar desplazamientos de mayor duración, como el fútbol y el hockey sobre hierba, su duración a máxima intensidad es inferior a 5 seg (Spencer *et al.*, 2004; Dal Monte y Faina, 1999).

Para definir el programa de entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes es necesario conocer también el **tiempo que transcurre entre las acciones realizadas a intensidad elevada**. Esto implica establecer la

relación entre el tiempo de competición y la frecuencia de acciones motrices de elevada exigencia. En los deportes compositivos y de motor esta relación está determinada con anterioridad, respectivamente, por la composición de la coreografía seleccionada y por las características del circuito. Aunque no hay análisis específicos, en los deportes de combate el tiempo que transcurre entre las acciones que requieren una intensidad elevada es muy breve. En los deportes de raqueta, y especialmente en los deportes de equipo, se observa una gran variabilidad en el desarrollo de la competición del tiempo entre acciones ejecutadas a intensidad máxima. Se ha descrito que como promedio un jugador de baloncesto realiza una acción a máxima intensidad cada 21 seg (incluyendo saltos) (McInnes *et al.*, 1995), un jugador de fútbol cada 72 seg (Bradley *et al.*, 2009), un jugador de fútbol sala cada 79 seg (Castagna *et al.*, 2009) y un jugador de bádminton cada 38 seg (Cabello y González-Badillo, 2003). Aunque este tipo de análisis puede estar influido por la velocidad considerada en cada estudio como máxima, determina un promedio relativamente elevado de pausa activa y/o pasiva entre las acciones ejecutadas a elevada intensidad.

Con el fin de individualizar el programa de entrenamiento de resistencia es necesario establecer las **diferencias en la frecuencia de acciones realizadas a intensidad elevada entre competidores** que desarrollan funciones diferentes. En el análisis de la frecuencia de acciones a intensidad elevada se han observado diferencias significativas entre jugadores que realizan distintas funciones en fútbol (Bradley *et al.*, 2009; Di Salvo *et al.*, 2007), rugby (Gabett *et al.*, 2008), hockey sobre hierba (Spencer *et al.*, 2004) y baloncesto (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007). Por ejemplo, en hockey sobre hierba la frecuencia de esprines es el doble en los extremos y delanteros que en los defensas y centrocampistas (Spencer *et al.*, 2004), lo que determina que en la programación del entrenamiento el tiempo de recuperación entre repeticiones ejecutadas a la máxima intensidad en los extremos y delanteros debe ser la mitad que en el resto de deportistas.

No obstante, desde nuestra perspectiva no es adecuado planificar el entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes considerando el tiempo promedio de recuperación entre las acciones realizadas a intensidad elevada. Un mayor nivel de reflexión establece que probablemente el deportista está limitado en realizar acciones a intensidad elevada con eficacia en las fases de la competición en que se suceden estas acciones con menor tiempo de recuperación. Como ejemplo, podemos observar la variabilidad en

la competición del tiempo que transcurre entre esprines en jugadores de hockey sobre hierba (Spencer *et al.*, 2004) (figura 4.96). Se observa que el tiempo es superior a 1 min en más del 50% de los esprines. Sin embargo, probablemente la mayor disminución de la frecuencia e intensidad de las acciones realizadas a intensidad elevada está asociada a las fases del partido en las que la recuperación entre esprines es inferior a 20 seg.

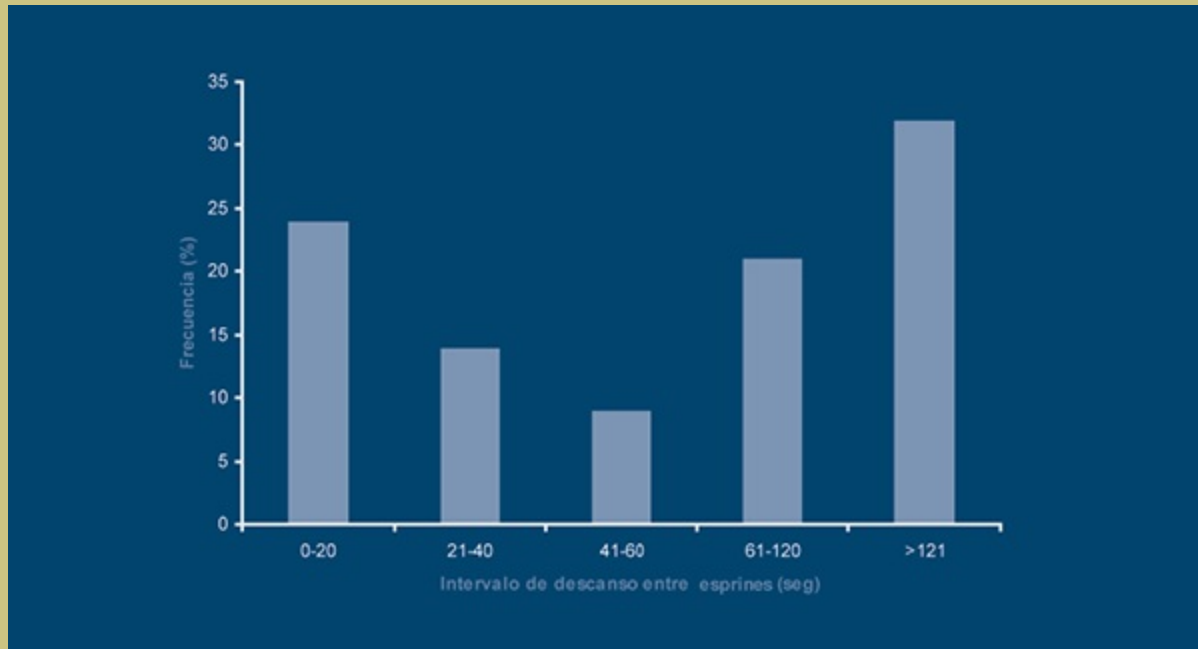


FIGURA 4.96. Variabilidad en el intervalo de tiempo entre esprines en hockey sobre hierba. En los deportes de equipo, en este caso hockey sobre hierba, el período de tiempo que transcurre entre acciones ejecutadas a intensidad elevada es muy variable, siendo relativamente alto el número de acciones que se suceden con un período de descanso breve.

Adaptado de Spencer M et al. J Sports Sci 2004;22:843-50.

Como se ha indicado, en algunas modalidades deportivas las acciones ejecutadas a intensidad elevada están determinadas previamente. La dinámica de competición en otros esfuerzos intermitentes como el baloncesto y el balonmano determina que es difícil que el deportista pueda regular su esfuerzo influyendo significativamente en la frecuencia de acciones que realiza a máxima intensidad. No obstante, en todos estos deportes, ni la frecuencia de acciones a intensidad elevada ni el nivel de actividad requerido entre estas acciones son estables durante el desarrollo de la competición.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Probablemente, un **análisis de las fases de la competición que requieren mayor nivel de exigencia** es el **método más apropiado para definir los componentes del entrenamiento de resistencia**. Además, en otras modalidades deportivas que permiten una mayor regulación del esfuerzo, como son el fútbol, hockey sobre hierba y rugby, es probable que la fatiga en las fases de mayor exigencia determine la frecuencia de acciones motrices que el deportista realiza a intensidad elevada. Por este motivo, en estos deportes es relevante conocer en el análisis de la competición, además del tiempo y el tipo de actividad realizada entre acciones ejecutadas a intensidad elevada en las fases de la competición de mayor exigencia, el número máximo de acciones a intensidad elevada que es capaz de realizar el deportista. De esta forma podremos conocer para cada jugador el **nivel de exigencia de resistencia en competición**, disponiendo de datos concretos para definir con rigor la duración y el número de repeticiones, así como el tiempo y la actividad entre las repeticiones a realizar en las sesiones de entrenamiento.

A pesar de la importancia que tiene para la programación del entrenamiento de los esfuerzos intermitentes, la literatura científica no ha focalizado su objetivo en el análisis de las fases de la competición que requieren mayor nivel de exigencia. Según nuestros datos, un análisis de estas características únicamente se ha realizado en jugadores de hockey sobre hierba en el mencionado estudio de Spencer *et al.*, (2004). Los autores definieron que una fase de la competición requería una exigencia elevada cuando un jugador tenía que realizar al menos 3 esprines separados por un tiempo promedio inferior a 21 seg. En el partido analizado encontraron esta situación en 17 ocasiones, con la realización de un promedio de $4,2 \pm 1,3$ esprines y un tiempo promedio entre esprines de $14,9 \pm 5,5$ seg (tabla 4.45). De especial interés es que los datos específicos de cada una de estas situaciones demuestran que los jugadores están limitados en el número de acciones que realizan a máxima intensidad por el tiempo de recuperación del que disponen. Esto implica que un jugador se regula en su esfuerzo no pudiendo incrementar la frecuencia de acciones a intensidad elevada como consecuencia de la fatiga. Así, un análisis detallado de estos datos demuestra que un jugador de hockey sobre hierba realiza un máximo de 6-7 esprines cuando dispone de un tiempo promedio entre los esprines superior a 15 seg. Sin embargo, el jugador realiza un máximo de 3 esprines cuando el tiempo promedio de que dispone entre esprines es inferior a 10 seg.

TABLA 4.45. Análisis de las fases de competición que requieren mayor exigencia en los jugadores de hockey sobre hierba

<i>Número de esprines</i>	<i>Tiempo promedio entre esprines (seg)</i>
6	20,2
4	17,3
3	5,2
6	20,5
5	16,5
3	15,4
5	20,0
4	15,5
3	9,1
4	16,1
3	15,2
6	19,9
3	5,2
7	15,1
3	5,0
4	16,9
3	20,5
Promedio: 4,2 ± 1,3	Promedio: 14,9 ± 5,5

* Los autores consideran como fase de elevada exigencia cuando el jugador realiza 3 esprines sucesivos con un periodo de recuperación inferior a 21 seg.

Adaptado de Spencer M et al. J Sports Sci 2004;22:843-50.

Aunque los autores no aportaron la información, es probable que los últimos esprines de cada fase de exigencia elevada se ejecuten a menor velocidad de desplazamiento. Además, como se observa en la figura 4.97, la intensidad de los movimientos en el tiempo transcurrido entre esprines es muy superior en las fases de mayor exigencia que en la globalidad de la competición. La limitación de los repetidos esprines puede ser transferible a otros esfuerzos intermitentes. Así, aunque con un menor nivel de concreción, Castagna *et al.*, (2009) observaron que, aunque el promedio de recuperación entre esprines en un partido de fútbol sala es de 79 seg, más del 50% de los esprines se suceden con un período de recuperación inferior a 40 seg. De

hecho, en fases cruciales del juego, los autores observaron la ejecución de 3-4 esprines con una recuperación de 20-30 seg. Como se especifica posteriormente, estos datos asociados a las fases de mayor exigencia son de especial utilidad para optimizar la resistencia en los esfuerzos intermitentes.

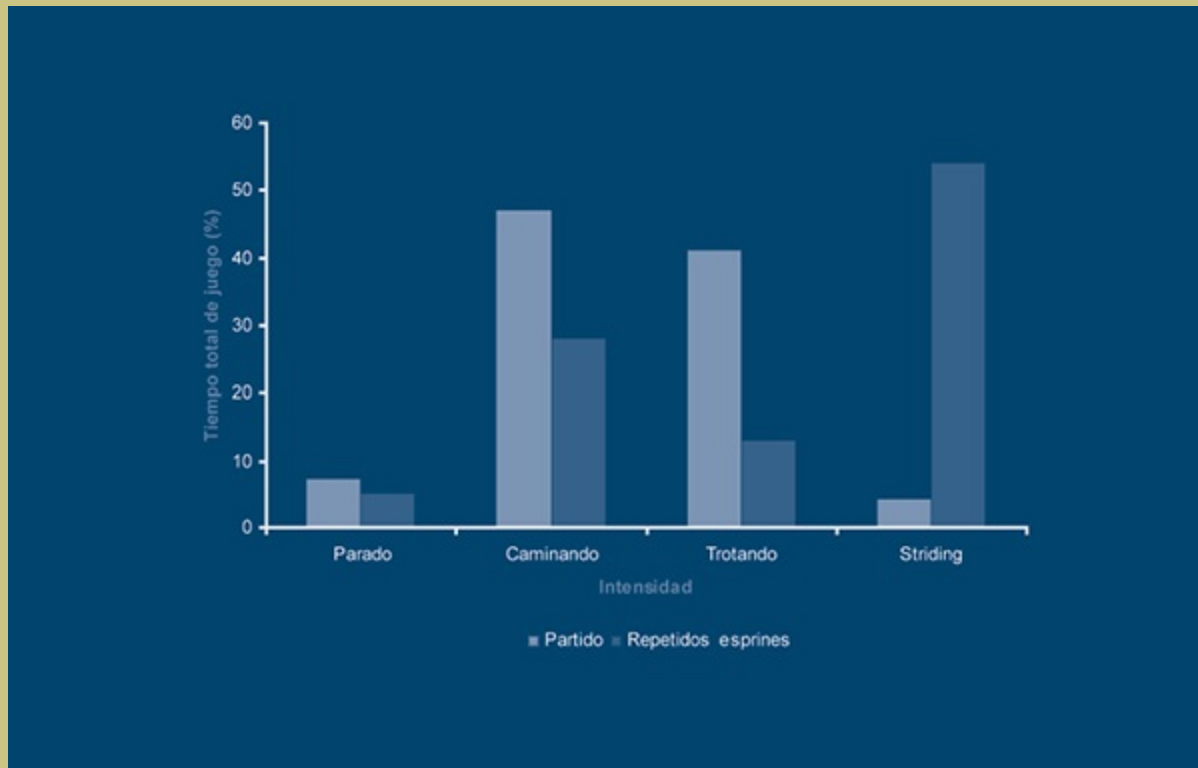


FIGURA 4.97. Diferencias del tipo de esfuerzo realizado en hockey sobre hierba en el tiempo trans-currido entre esprines en las fases de mayor exigencia y en el total de la competición. La intensidad desarrollada entre esprines repetidos es muy superior a la intensidad global de la competición. Esto dificulta la recuperación entre acciones de exigencia elevada.

Elaborado con datos de Spencer M et al. J Sports Sci 2004;22:843-50.

4.2. Análisis fisiológico

Hemos establecido las zonas metabólicas de los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad constante y variable mediante el conocimiento de los límites temporales de los distintos procesos fisiológicos y mecánicos asociados al desarrollo de la resistencia, y relacionando los parámetros obtenidos en la competición y en el laboratorio. La relación entre parámetros

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de competición y de laboratorio se ha utilizado ampliamente también para una mejor comprensión de los esfuerzos intermitentes. Recordemos que este análisis requiere una valoración previa en el laboratorio de la evolución de la FC y del VO_2 en una prueba de esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento y la determinación posterior de estos parámetros en competiciones oficiales o simuladas. Mediante esta relación, actualmente en la mayoría de los esfuerzos intermitentes existen estudios que establecen la intensidad relativa del esfuerzo mediante el promedio del porcentaje de FC máx. y de VO_2 máx. desarrollado por los deportistas en competición. Como ejemplo, se muestra en la figura 4.98 la intensidad relativa desarrollada por jugadores de bádminton relacionando la FC y el VO_2 de la competición con los valores máximos observados en estos parámetros en el laboratorio.

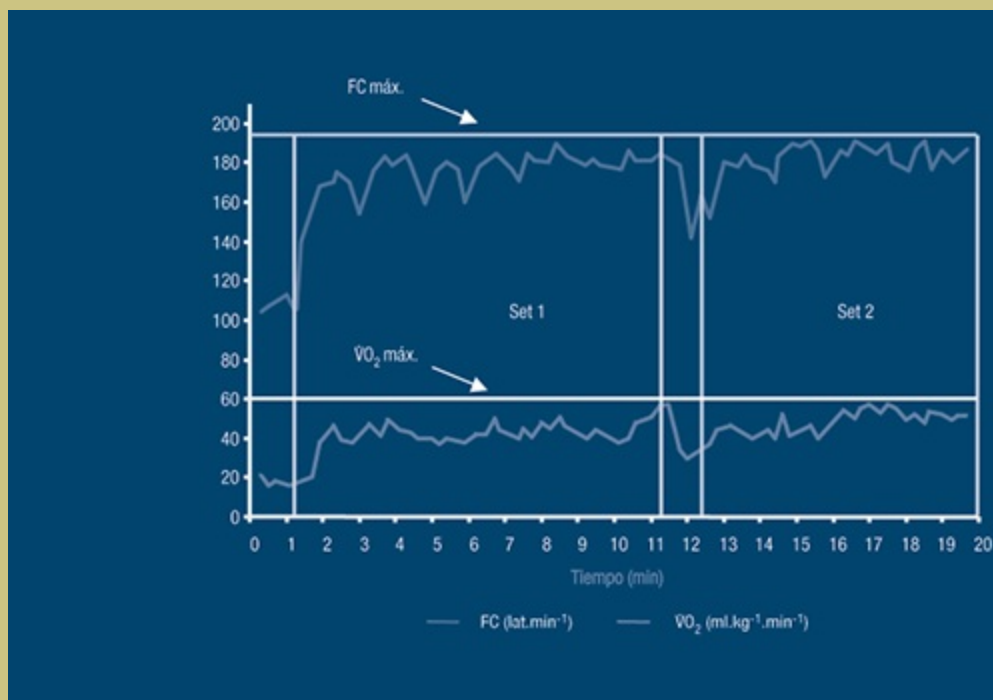


FIGURA 4.98. Intensidad relativa desarrollada por jugadores de bádminton mediante la relación de los valores de la FC y del VO_2 obtenidos en competición simulada y los valores máximos obtenidos en el laboratorio. La FC y el VO_2 reflejan las variaciones de intensidad características de los esfuerzos intermitentes. Sin embargo, ambas variables se mantienen relativamente elevadas durante toda la competición, no reflejando los períodos de pausa pasiva.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

La intensidad relativa promedio difiere entre las distintas modalidades deportivas y también entre estudios que examinan un mismo deporte. A este respecto, hay que considerar que, además de por posibles diferencias metodológicas, los valores pueden estar influidos parcialmente por su análisis en una competición oficial o en una competición simulada.

Mediante el **análisis de la FC en competición**, la intensidad relativa promedio más elevada en esfuerzos intermitentes se ha descrito en deportes de combate, por ejemplo, en judo un 92% de la FC máx. (Degoutte *et al.*, 2003), y en deportes de raqueta con menor dimensión del terreno de competición, por ejemplo en bádminton un 91% de la FC máx. La intensidad relativa promedio en otros deportes como fútbol (Krustrup *et al.*, 2005), fútbol

sala (Castagna *et al.*, 2009), hockey sobre hierba (Boyle *et al.*, 1994) y baloncesto (McInnes *et al.*, 1995) se sitúa en el intervalo del 85-90% de la FC máx. En escalada se ha establecido una variación entre el 70% y el 85% de la FC máx., asociándose al grado de dificultad (Sheel *et al.*, 2004; Mermier *et al.*, 2000; Billat *et al.*, 1995b). En otros esfuerzos intermitentes como rugby, waterpolo, tenis y natación sincronizada, la FC máx. promedio es inferior al 70-75% (Dal Monte y Faina, 1999). Mediante la determinación de la FC en competición se han observado diferencias significativas en la intensidad relativa promedio del esfuerzo entre jugadores que realizan distintas funciones, por ejemplo, en rugby y waterpolo (Dal Monte y Faina, 1999).

El **análisis del $\dot{V}O_2$ en competición** demuestra que el $\dot{V}O_2$ promedio en un esfuerzo intermitente es relativamente bajo, con los valores más bajos en deportes de motor (18-25 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; Dal Monte y Faina, 1999), escalada (20-25 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; Sheel *et al.*, 2004; Mermier *et al.*, 2000; Billat *et al.*, 1995b) y tenis (27-29 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; Dal Monte y Faina, 1999; Fernández *et al.*, 2005); valores intermedios de 30-35 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en deportes de equipo (Narazaki *et al.*, 2008; Dal Monte y Faina, 1999), y valores próximos a 50 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en fútbol sala (Castagna *et al.*, 2009) y boxeo (Dal Monte y Faina, 1999).

En todos los esfuerzos intermitentes, la intensidad relativa promedio determinada mediante el porcentaje del $\dot{V}O_2$ máx. es muy inferior a la establecida mediante el porcentaje de la FC máx. Mientras que la intensidad relativa determinada mediante la FC varía en función de la modalidad deportiva entre el 70% y el 95% de la FC máx., en los mismos deportes la

intensidad relativa determinada mediante el VO_2 se sitúa entre el 40% y 70% del VO_2 máx. (Dal Monte y Faina, 1999). Por ejemplo, Schel *et al.*, (2004) mostraron el 50% promedio del VO_2 máx. y el 90% promedio de la FC máx. durante vías de escalada de elevada dificultad. La diferencia de la intensidad relativa mediante el análisis de la FC y el VO_2 se debe a que estas variables responden de forma diferente a los continuos cambios de intensidad asociados a los esfuerzos intermitentes. Como hemos indicado en el análisis de los esfuerzos ejecutados a intensidad variable, la FC tarda mucho tiempo en ajustarse a los descensos bruscos de la intensidad. De acuerdo con Novas *et al.*, (2003), la FC permanece relativamente constante en los períodos de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia inferiores a 15 seg. En este período el deportista puede estar parado o caminando, manteniéndose sin embargo una FC muy elevada. Aunque el VO_2 no refleja realmente la intensidad de un esfuerzo intermitente, su respuesta a la disminución de la intensidad es mucho más rápida que la observada para la FC. Este aspecto se observa claramente en la evolución de estos parámetros durante el desarrollo de un partido de baloncesto (figura 4.99) (Dal Monte y Faina, 1999). Se puede apreciar que incluso en el período de descanso el %FC máx. es relativamente elevado, con valores mínimos de $\sim 50\%$ de los valores máximos observados en el partido. En cambio, el porcentaje del VO_2 máx. es en las fases de menor intensidad el 30-50% del VO_2 máx. Además, también se observa en este análisis que la respuesta del VO_2 es muy inferior a la de la FC en las fases de la competición de mayor exigencia. Este aspecto simplemente es el reflejo de que el VO_2 no puede determinar el metabolismo de las acciones motrices de máxima intensidad, esfuerzos máximos de muy corta duración. Según este análisis, probablemente la FC y el VO_2 reflejan mejor, respectivamente, las acciones de mayor y menor exigencia.

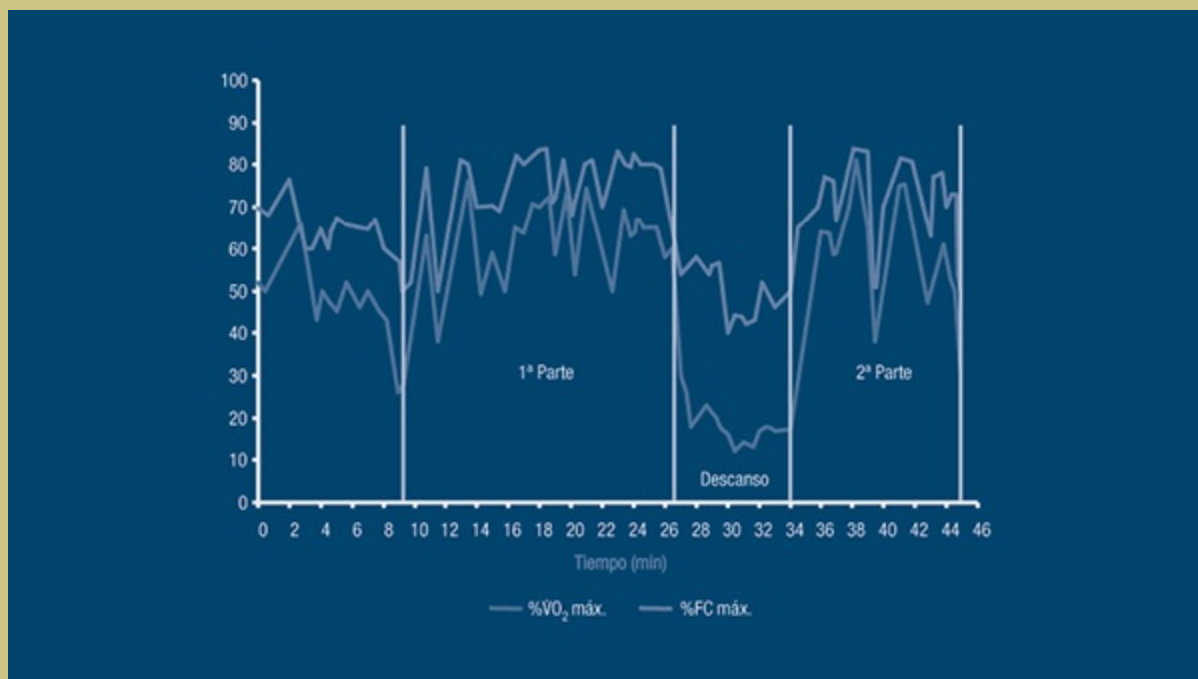


FIGURA 4.99. Diferencias de la intensidad relativa de la FC y del VO₂ durante el desarrollo de un partido de baloncesto. En los períodos de la competición de menor intensidad, el VO₂ disminuye de forma más acusada que la FC.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

La medición de la intensidad relativa promedio mediante la FC y el VO₂ permite diferenciar el nivel de exigencia de los esfuerzos intermitentes. Sin embargo, extrapolar esta intensidad a las zonas metabólicas establecidas para los esfuerzos continuos es un error actualmente asumido por investigadores y entrenadores. Con las limitaciones indicadas, determinar la evolución de la FC y del VO₂ en el transcurso de una competición o entrenamiento únicamente nos aporta la información de que el esfuerzo es intermitente. Por otra parte, la determinación de estas variables tiene una **utilidad limitada** para intentar comprender el metabolismo de los esfuerzos intermitentes. Ni la FC permite discriminar las fases de menor intensidad, ni el VO₂, las acciones realizadas a una intensidad superior a la VAM. Además, la FC y lógicamente el VO₂ son variables asociadas a la determinación del metabolismo aeróbico. Sin embargo, las acciones motrices más determinantes del rendimiento de los esfuerzos intermitentes son realizadas a una intensidad elevada, requiriendo energía del metabolismo anaeróbico.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

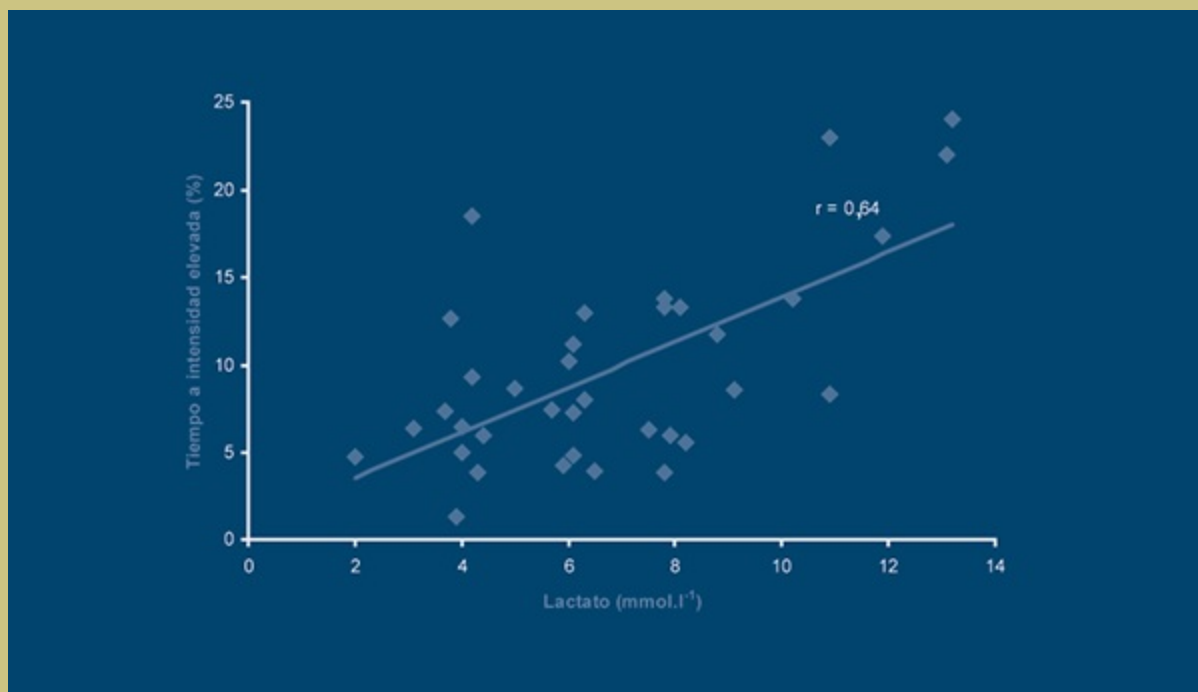


FIGURA 4.100. Relación entre la concentración de lactato y el tiempo realizado a intensidad elevada en los 5 min previos a la muestra en partidos oficiales de baloncesto. La concentración de lactato refleja en los esfuerzos intermitentes, en este caso baloncesto, la exigencia de intensidad en los minutos previos a la muestra.

Adaptado de McInnes SE et al. J Sports Sci 1995;13:387-97.

Con el fin de estimar la participación del metabolismo anaeróbico láctico, numerosos estudios han establecido para la mayoría de las modalidades deportivas un **análisis de la concentración de lactato en competición** oficial o simulada. La concentración de lactato puede reflejar el nivel de exigencia de las distintas modalidades deportivas y la variación de exigencia entre fases de la competición. Una concentración de lactato superior estará asociada probablemente a la ejecución de acciones a intensidad elevada que se suceden con menor tiempo de pausa pasiva y/o con menor tiempo y mayor exigencia de pausas activas. Así, en distintas modalidades deportivas, tenis (Christmass *et al.*, 1998), fútbol (Bangsbo *et al.*, 1991) y baloncesto (McInnes *et al.*, 1995) (figura 4.100), se ha establecido una correlación entre el nivel de concentración de lactato y el período de tiempo del esfuerzo realizado a intensidad elevada en los minutos previos a la muestra. En consecuencia, en los esfuerzos intermitentes se evidencia, para una misma modalidad deportiva, una gran variación en los valores de concentración de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

lactato, que son **reflejo del nivel de exigencia de los minutos previos**. La concentración de lactato promedio más elevada en esfuerzos intermitentes se ha observado en deportes de combate, $12,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en judo (Degoutte *et al.*, 2003). La concentración de lactato promedio en rugby se ha establecido entre $5,8$ y $6,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, con valores máximos de 8 a $12 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Dal Monte y Faina, 1999; Deutsch *et al.*, 1998; McLean, 1992). Similares valores medios y máximos determinaron Roi y Osgnach (2005) en partidos de la Serie A de la Liga Italiana de fútbol: defensas ($6,2 \pm 2,4$, intervalo = $2,9$ - $10,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), centrocampistas ($6,1 \pm 2,7$, intervalo $2,1$ - $11,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) y delanteros ($6,6 \pm 1,8$, intervalo = $4,0$ - $9,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$); McInnes *et al.*, (1995) en partidos oficiales de baloncesto ($6,8 \pm 2,8$, intervalo = 2 - $13,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) (figura 4.101), y Castagna *et al.*, 2009 en partidos simulados de fútbol sala ($5,3 \pm 1,8$, intervalo = $1,1$ - $10,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). El lactato promedio en otros deportes de equipo (voleibol y waterpolo) y en deportes compositivos (natación sincronizada) es significativamente inferior (Dal Monte y Faina, 1999). También son menores los niveles de lactato encontrados en deportes de raqueta. En tenis, por ejemplo, en los 11 estudios revisados por Fernández *et al.*, (2005), la concentración fue $2,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Sin embargo, al igual que en otros esfuerzos intermitentes, en fases del partido de menor intensidad la concentración es $0,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, mientras que en puntos largos y/o intensos se puede alcanzar valores de $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Fernández *et al.*, 2005; Christmass *et al.*, 1998). En bádminton se ha descrito un lactato promedio ligeramente superior que en tenis, pero con menor intervalo de variación ($3,8 \pm 0,9$, intervalo $2,4$ - $5,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) (Cabello y González-Badillo, 2003). La concentración de lactato al finalizar una vía de escalada varía de 3 a $7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en función de los estudios y el nivel de exigencia de la vía (Mermier *et al.*, 2000; Booth *et al.*, 1999; Watts *et al.*, 1996). En relación con los datos presentados, se encuentra una clara asociación entre los niveles de concentración de lactato y el análisis motor de la competición especificado previamente. El elevado intervalo de los niveles de lactato encontrados en el transcurso de la competición de una determinada modalidad deportiva se ajusta a las fases de la competición con distinto nivel de exigencia.

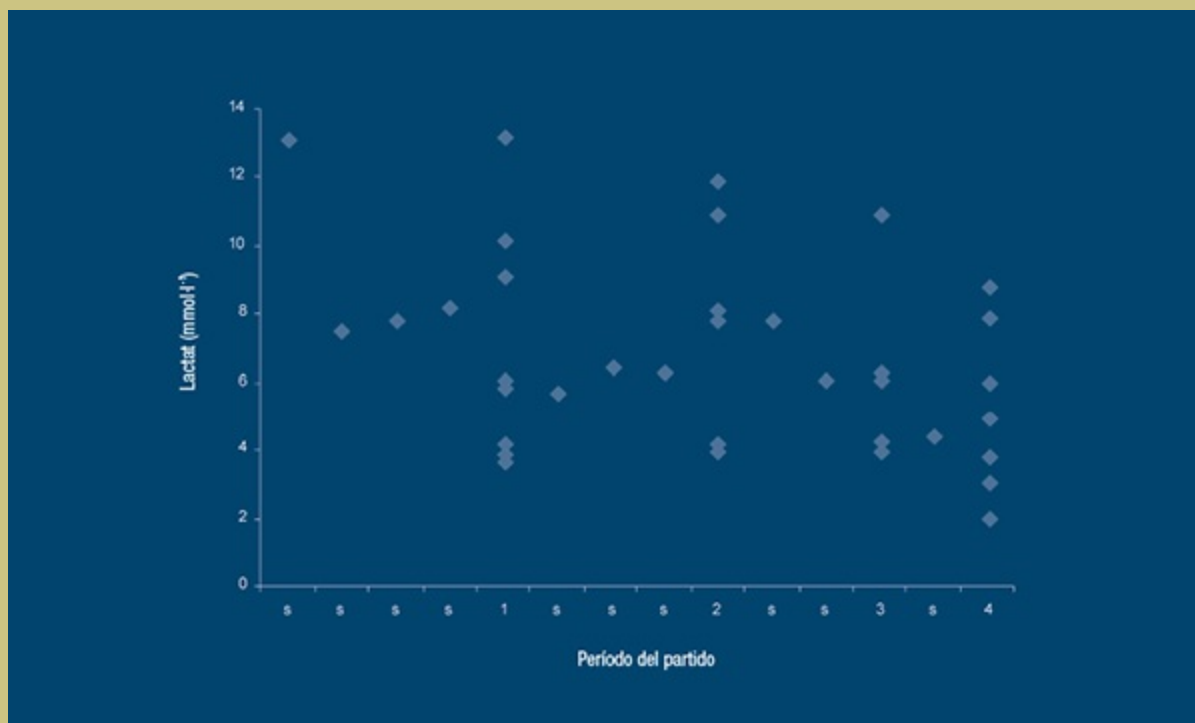


FIGURA 4.101. Valores de lactato recogidos durante las sustituciones y descansos de partidos oficiales de baloncesto. S = sustitución; 1 = 1^{er} cuarto; 2 = 2^o cuarto; 3 = 3^{er} cuarto; 4 = 4^o cuarto. La concentración de lactato en un esfuerzo intermitente, en este caso baloncesto, es muy variable como consecuencia de fases de la competición con distinto nivel de exigencia.

Adaptado de McInnes SE et al. J Sports Sci 1995;13:387-97.

Otros estudios han intentado comprender el metabolismo de los esfuerzos intermitentes mediante un **análisis en laboratorio de un esfuerzo que simula la competición**, observando simultáneamente la evolución de parámetros fisiológicos y mecánicos relevantes. Según nuestros datos, únicamente en un estudio se ha establecido un protocolo con unas duraciones del esfuerzo y de la recuperación similares a la descrita, por ejemplo, en las **fases de mayor exigencia** de los deportes de equipo (Spencer *et al.*, 2006). Aunque los resultados de este estudio están limitados a la realización del esfuerzo en bicicleta, la determinación de parámetros como la potencia, la PCr y el lactato en un protocolo con una relación trabajo/pausa equiparable a la de las fases de mayor exigencia de los deportes de equipo (6 esprines de 4 seg con recuperación activa de 21 seg entre esprines) es interesante para una mejor comprensión del metabolismo en los esfuerzos intermitentes. El primer

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

aspecto destacable de este estudio es que 21 seg de recuperación no son suficientes para mantener los niveles de potencia. La **potencia** disminuye progresivamente durante la realización del protocolo de esfuerzo, evidenciándose valores significativamente inferiores desde el segundo esprín (figura 4.102). Este dato es relevante, ya que demuestra la importancia de optimizar la resistencia en los esfuerzos intermitentes con el fin de que la disminución de la intensidad de las acciones motrices sea menor. Es interesante que inmediatamente después del protocolo de esfuerzo los niveles de **PCr** se encontraran disminuidos en $\sim 70\%$ y la **concentración de lactato** muscular estuviera aumentada significativamente. Ambos aspectos pueden explicar el descenso de potencia en los repetidos esprines, ya que después del protocolo de esfuerzo se evidencia que 21 seg de recuperación activa son insuficientes para una resíntesis completa de la PCr y para la eliminación de la concentración de lactato muscular (figura 4.103).

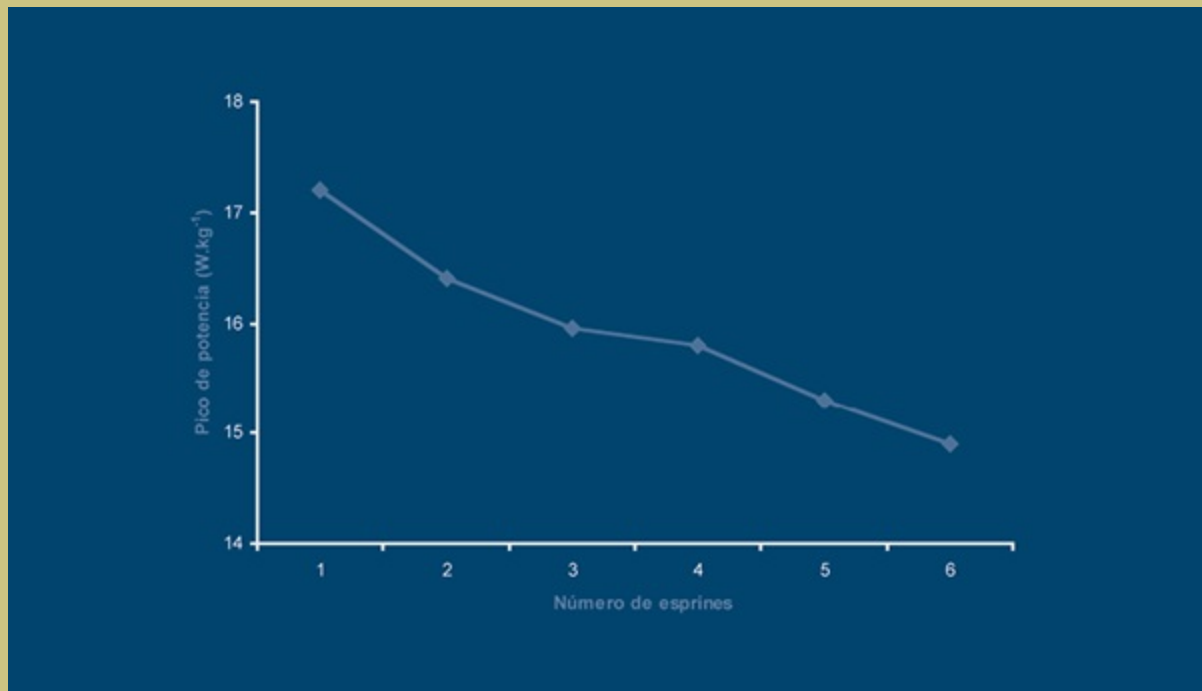


FIGURA 4.102. Pico de potencia durante 6 esprines de 4 seg realizados en cicloergómetro con re-cuperación activa de 21 seg entre esprines. La simulación en laboratorio de las características de las fases de la competición de mayor exigencia de los deportes de equipo determina una disminución progresiva de la potencia manifestada.

Adaptado de Spencer M et al. Med Sci Sports Exerc 2006;38:1492-9.

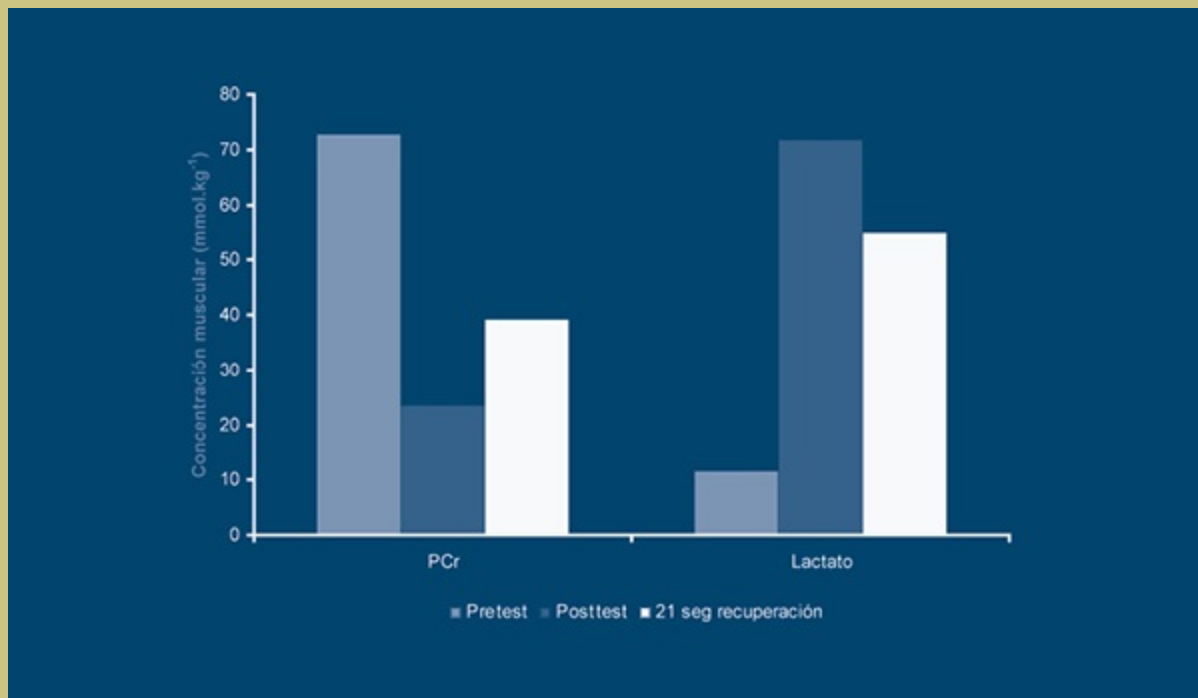


FIGURA 4.103. Valores de PCr y lactato en el músculo vasto lateral antes y después de realizar un test de repetidos esprines (6 esprines de 4 seg en cicloergómetro con recuperación activa de 21 seg) y después de 21 seg de recuperación. La simulación en laboratorio de las características de las fases de la competición de mayor exigencia de los deportes de equipo determina un descenso acusado de los depósitos de PCr y un incremento de la concentración de lactato. Obsérvese también que 21 seg de recuperación son claramente insuficientes para la resíntesis completa de la PCr y la eliminación de lactato.

Elaborado con datos de Spencer M et al. Med Sci Sports Exerc 2006;38:1492-9.

4.3. Metabolismo

Sobre la base de conocer los límites temporales de las distintas vías metabólicas, del análisis de la concentración de lactato, de la evolución de parámetros fisiológicos y mecánicos en protocolos de laboratorio que simulan la competición y especialmente del análisis de la variación de intensidad de la competición, podemos establecer un **modelo teórico del metabolismo en los esfuerzos intermitentes** que nos conduzca a una metodología de entrenamiento diferenciada.

El análisis de los movimientos de la competición ha mostrado que en los esfuerzos intermitentes se alternan períodos cortos de intensidad elevada con

períodos largos de actividad de intensidad baja a submáxima y pausas completas. En la figura 4.104 se establece un modelo teórico de los procesos metabólicos asociados a las acciones de intensidad elevada y a los períodos de pausa activa o pasiva.

Aunque en la mayoría de los esfuerzos intermitentes la mayor parte del tiempo transcurre con movimientos de baja intensidad (andar, trotar, parado), las fases de mayor exigencia son determinantes para el rendimiento. En las **acciones motrices de intensidad elevada** se requieren las vías metabólicas que proporcionan una mayor velocidad de resíntesis del ATP, vías anaeróbicas aláctica y láctica. La proporción de utilización de estas vías metabólicas depende de cómo se manifieste la fuerza en las distintas acciones motrices específicas.

En numerosas modalidades deportivas (deportes de equipo, deportes de raqueta, deportes de combate, deportes compositivos) es necesario manifestar la máxima fuerza posible en algunas acciones como aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección, saltos, lanzamientos, golpesos, agarres, empujones, levantamientos y otros movimientos acíclicos de las extremidades superiores e inferiores. En todas estas situaciones, el **metabolismo anaeróbico aláctico** es predominante, pero además, como se especifica en varios estudios, se requiere también desde el inicio de la acción motriz la energía derivada del **metabolismo anaeróbico láctico**. Otras acciones motrices de los esfuerzos intermitentes precisan también una intensidad elevada sin manifestar la máxima fuerza posible. Estas acciones se caracterizan por la manifestación de distintos niveles de fuerza resistencia dependiendo del tipo de acción muscular, la duración del esfuerzo y el tipo de movimiento. Éste es el caso, por ejemplo, de la manifestación de fuerza resistencia, habitualmente mediante una acción isométrica, en las acciones motrices de mayor exigencia de los deportes de motor, deportes de precisión y en determinadas acciones en otros esfuerzos intermitentes como en deportes de combate, rugby, gimnasia deportiva, vela, escalada, etc. Estas acciones requieren también la participación del metabolismo aláctico, pero, al no aplicarse la máxima fuerza posible, aumenta relativamente la participación del metabolismo anaeróbico láctico.

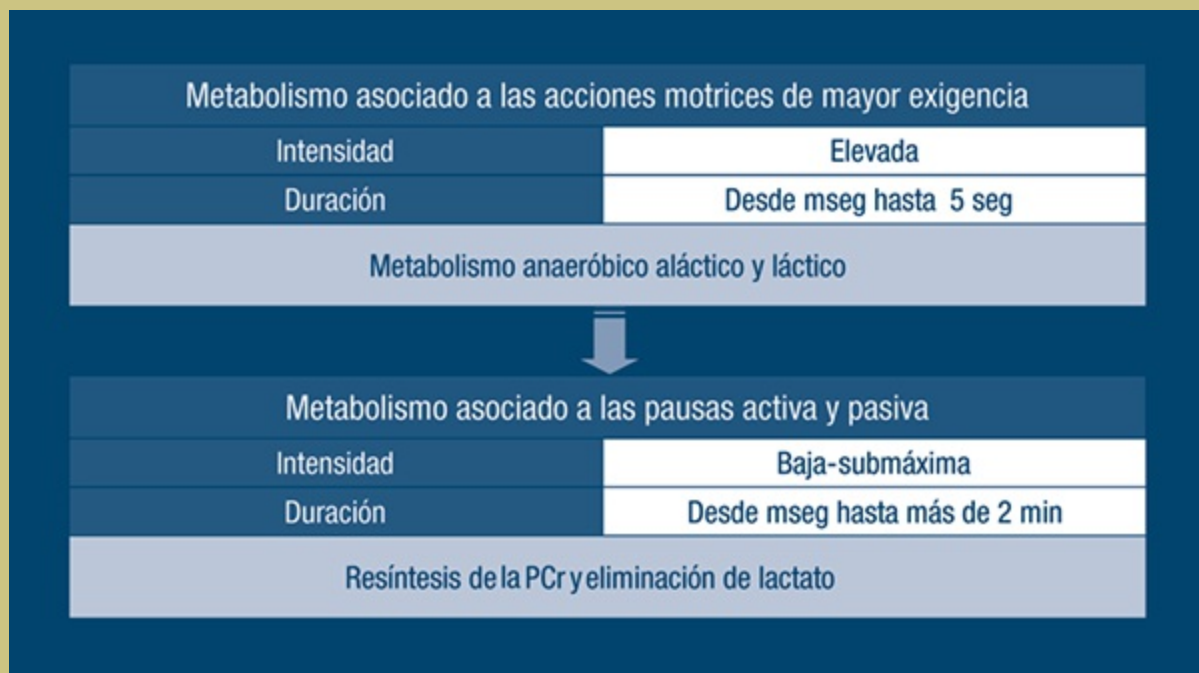


FIGURA 4.104. Modelo teórico de los procesos metabólicos asociados a los esfuerzos intermitentes durante la ejecución de una acción motriz a intensidad elevada y en un período de pausa activa o pasiva.

Original de los autores.

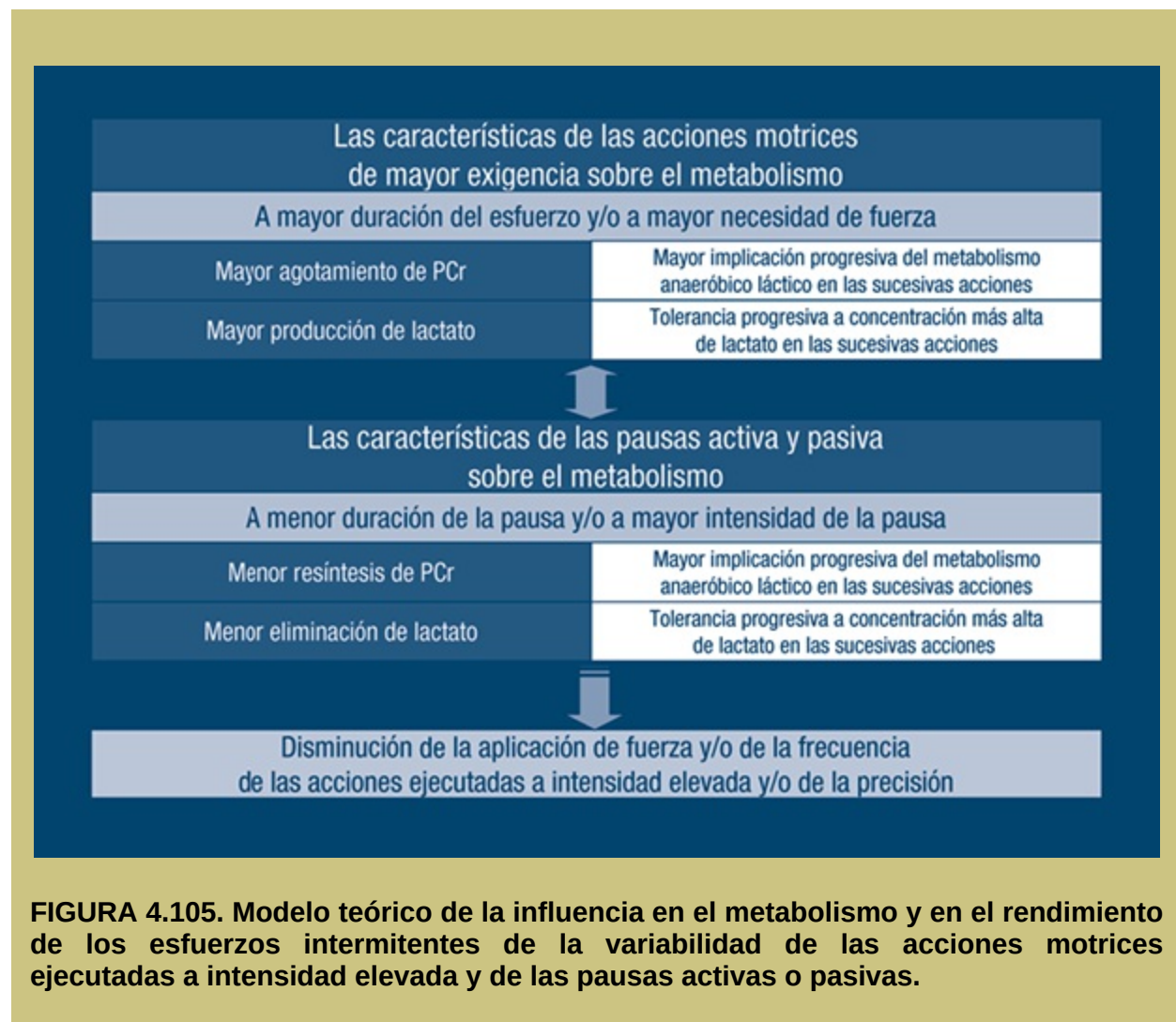
Independientemente de que en las acciones motrices se aplique o no la máxima fuerza posible en las situaciones de mayor intensidad, en los **períodos de pausa activa**, asociados a la realización de movimientos de menor intensidad, y en los **períodos de pausa pasiva** se evidencia una **resíntesis de la PCr y eliminación de lactato** muscular.

Se ha descrito que existen importantes diferencias entre deportes y entre distintas fases de la competición de un mismo deporte en la duración y frecuencia de las acciones de mayor intensidad, en la duración e intensidad de las pausas activas y en la duración de las pausas pasivas. En la figura 4.105 se establece un modelo teórico de la influencia que tiene la variabilidad de estos parámetros sobre el metabolismo y el rendimiento de los esfuerzos intermitentes.

Los depósitos de PCr no se agotan hasta los 5-6 seg de un esfuerzo máximo continuo. El análisis de la competición mostró que la duración de las acciones motrices ejecutadas a máxima intensidad en los esfuerzos intermitentes es muy breve, habitualmente de mseg a 2 seg, con una duración

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

máxima inferior a 5 seg. Según estos datos, podemos afirmar que durante la ejecución de una única acción motriz a máxima intensidad en un esfuerzo intermitente no se agotan los depósitos de PCr. La poca duración del esfuerzo determina también un bajo nivel de concentración de lactato al finalizar una única acción motriz a intensidad máxima. En los esfuerzos intermitentes asociados a la manifestación de fuerza resistencia, en las acciones de mayor exigencia es más difícil determinar en qué medida se modifican los valores de PCr y lactato debido a la gran variabilidad de intensidad requerida en los movimientos de estos deportes y a la ausencia de estudios que analicen la duración de estas acciones en competición. Independientemente de este análisis, el grado de depleción de los depósitos de PCr y la concentración de lactato al finalizar la ejecución de una acción motriz de elevada exigencia son proporcionales a la duración del esfuerzo y al nivel de fuerza requerido.



La resíntesis completa de los depósitos de PCr requiere un período de descanso de 3 a 5 min (Tomlin y Wenger, 2001), y la eliminación de lactato muscular, un período de tiempo incluso superior. Este intervalo de tiempo únicamente se evidencia en algunos esfuerzos intermitentes en determinados períodos de recuperación pasiva, fundamentalmente asociados a descansos entre las distintas partes en que se divide la competición y a las sustituciones de jugadores. Además, habitualmente en la mayoría de esfuerzos intermitentes se requiere la **ejecución sucesiva de acciones de intensidad elevada** con un intervalo de tiempo muy variable e inferior a 3-5 min. Estos datos implican que el deportista debe realizar la siguiente acción de elevada exigencia con una determinada concentración de lactato en el músculo y con menor reserva de PCr. Independientemente de este análisis, una menor duración de la pausa activa o pasiva y una mayor intensidad del esfuerzo en el período de pausa activa determinan una resíntesis de la PCr y una eliminación de lactato muscular menores.

En definitiva, una mayor depleción de los depósitos de la PCr debido a las características de las acciones motrices ejecutadas a intensidad elevada y/o una menor resíntesis de la PCr debido a las características de los períodos de pausa activa y pasiva determinan que el deportista tenga que afrontar la siguiente acción motriz de elevada exigencia con **menor reserva de PCr**. Esto implica finalmente que los niveles de PCr sean insuficientes para suplir el requerimiento energético de las sucesivas acciones de intensidad elevada. En este caso, proporcionalmente a la disminución de las reservas de PCr se incrementa la participación del metabolismo anaeróbico láctico evidenciándose mayor concentración de lactato. Esto determina una **disminución de la aplicación de fuerza** en las sucesivas acciones motrices ejecutadas a intensidad elevada y una **menor frecuencia de acciones a intensidad elevada** debido a que no se dispone de reservas de la vía metabólica con mayor resíntesis del ATP por unidad de tiempo y al incremento progresivo de la concentración de lactato muscular. Probablemente, este nivel de fatiga afecta también la eficacia motriz e informacional.

De forma análoga, una mayor producción de lactato debido a las características de las acciones motrices ejecutadas a intensidad elevada y/o una menor eliminación de lactato debido a las características de los períodos

de pausa activa y pasiva determinan que el deportista tenga que afrontar la siguiente acción motriz de elevada exigencia con **mayor concentración de lactato** muscular. Esto implica que progresivamente el deportista tenga que tolerar en las sucesivas acciones motrices de intensidad elevada niveles superiores de lactato, lo que finalmente provoca una **disminución de la aplicación de fuerza, menor frecuencia de acciones a intensidad elevada** y probablemente menor nivel de precisión.

Este análisis metabólico se ajusta a la diferencia del lactato promedio observado entre las distintas modalidades deportivas, al intervalo de lactato observado en una determinada modalidad deportiva y a la limitación de realizar con mayor frecuencia acciones motrices de intensidad elevada en los esfuerzos intermitentes. La elevada concentración de lactato en los deportes de combate es reflejo de una resíntesis de la PCr y una eliminación de lactato incompletas a causa de la sucesión de acciones exigentes a intervalos de tiempo muy cortos, requiriendo además un alto nivel de intensidad y concentración. En cambio, en otros esfuerzos intermitentes como voleibol, tenis y bádminton, aparte de que las acciones de intensidad elevada se suceden con intervalos de tiempo de mayor duración y existen muchos períodos de recuperación pasiva, la dinámica de competición no permite al deportista incrementar significativamente en determinadas fases de la competición el nivel de exigencia. Por este motivo, en estos deportes, además de existir una mayor posibilidad de resíntesis de la PCr y de eliminación de lactato muscular que determinan un lactato promedio relativamente bajo, el límite máximo de lactato en competición tampoco es muy elevado. El rango de variación y el límite máximo de concentración de lactato determinado en la competición de otros deportes como rugby, fútbol y baloncesto es significativamente superior. En estos deportes, las acciones de elevada exigencia también se suceden con intervalos de tiempo largos. Sin embargo, la dinámica de competición permite una mayor regulación del esfuerzo del deportista, observándose fases de mayor y menor nivel de exigencia. Como se muestra en la figura 4.106, en este caso, en las fases de mayor exigencia se suceden acciones de elevada intensidad con menor tiempo de descanso, produciendo una progresiva disminución de las reservas de PCr y un aumento del lactato muscular. Ambos factores determinan que el deportista reduzca su nivel de rendimiento y se vea obligado a regular su esfuerzo ampliando durante un determinado período el tiempo de recuperación. El incremento del tiempo de recuperación posibilita que el deportista se aproxime al nivel basal

de PCr y de lactato, permitiéndole afrontar otra fase de exigencia elevada.

4.4. Factores de rendimiento

El desarrollo de la resistencia en los esfuerzos intermitentes debe incidir en mantener en la medida de lo posible en el transcurso de la competición una gran variedad de factores asociados a la optimización del rendimiento: el nivel de fuerza en las acciones de intensidad elevada, la frecuencia de acciones de intensidad elevada, la precisión de las acciones motrices, la concentración y motivación y la calidad de los procesos informacionales. Los factores motores, psicológicos e informacionales se analizan en capítulos específicos.

Desde la perspectiva de la manifestación de fuerza, podemos diferenciar las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes en las que requieren la ejecución a la intensidad máxima y en las que no la requieren. Según esta diferenciación, y como criterio didáctico, en las tablas 4.46 y 4.47 se representan los niveles de entrenamiento asociados al desarrollo de la resistencia en los esfuerzos intermitentes.

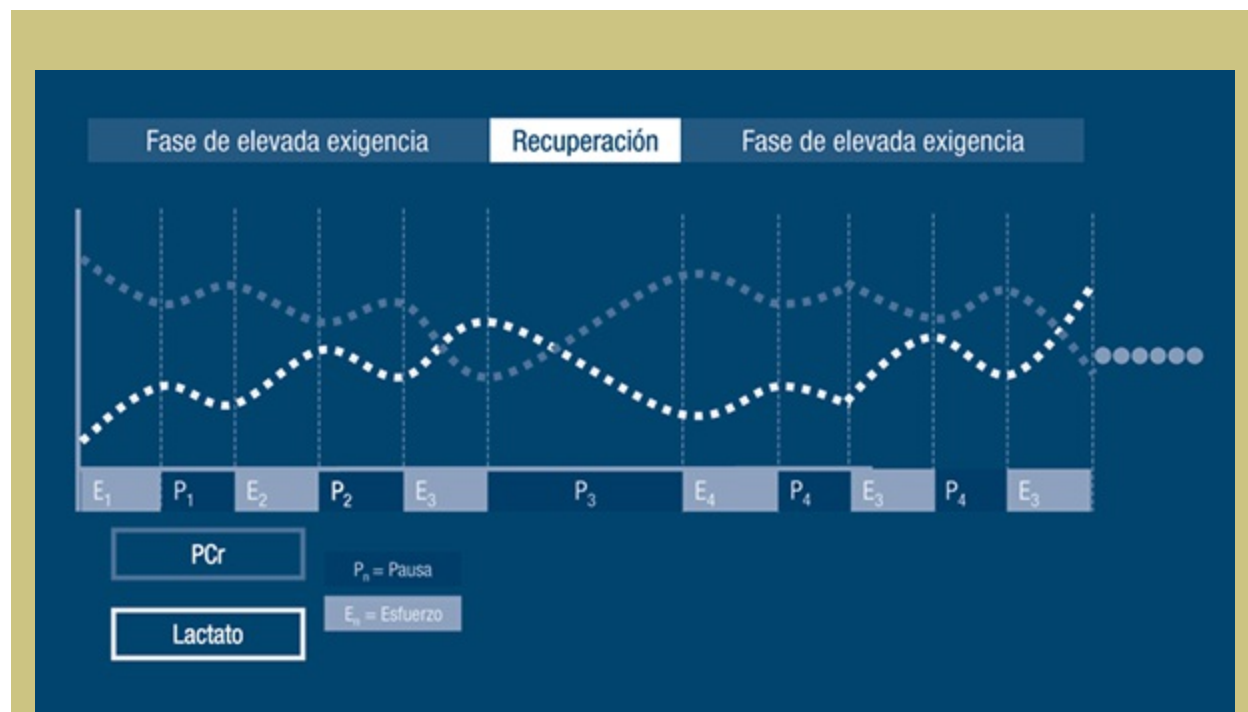


FIGURA 4.106. Modelo teórico de la evolución de los niveles de PCr y de lactato muscular en un es-fuerzo intermitente caracterizado por fases de la competición de mayor y menor exigencia. En las fases de la competición de mayor exigencia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

descienden progresivamente los depósitos de PCr y aumenta la concentración de lactato. Esto determina que los deportistas realicen fases de recuperación o de menor exigencia que permiten incrementar la resíntesis de PCr y la eliminación de lactato.

Original de los autores.

Para los **esfuerzos intermitentes que requieren acciones ejecutadas a la máxima intensidad**, desde la perspectiva metabólica, la **potencia anaeróbica aláctica y láctica** constituyen los **límites fisiológicos** de la resistencia de las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes ejecutadas a la máxima intensidad. Recordemos que la duración de estas acciones motrices es muy breve, desde mseg hasta ~ 5 seg.

El desarrollo de la potencia de ambas vías metabólicas está directamente asociado a una mayor manifestación de **fuerza explosiva** y, en consecuencia, a una mayor altura de salto, velocidad de golpes, lanzamientos, desplazamientos, etc. Lógicamente, son determinantes del rendimiento de las acciones motrices ejecutadas a la máxima intensidad todos los procesos neuromusculares asociados al desarrollo de la fuerza explosiva: reclutamiento y frecuencia de activación de fibras rápidas y aprovechamiento del CEA. En relación con la condición física, probablemente el desarrollo de todos los factores asociados a la manifestación de la fuerza explosiva es la principal vía de optimización del rendimiento en los esfuerzos intermitentes caracterizados por la ejecución de acciones a la intensidad máxima.

En estos esfuerzos, para una determinada acción motriz, un deportista con mayor nivel de resistencia es capaz de manifestar en las fases de competición de mayor exigencia un mayor porcentaje de su máxima aplicación de fuerza. Sin embargo, su rendimiento nunca podrá ser óptimo si su máxima aplicación de fuerza es deficitaria. Por ejemplo, el porcentaje de aplicación de fuerza de un jugador de voleibol que realiza en competición un salto máximo y mínimo, respectivamente, de 50 y 46 cm es el 92%. El nivel de resistencia de un jugador con una altura de salto de 60 a 50 cm es sensiblemente inferior, 83%; sin embargo, su nivel de rendimiento en esta acción motriz es superior en toda la competición.

TABLA 4.46. Factores de rendimiento específicos y niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de la resistencia de las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes ejecutadas a la intensidad máxima

<i>Límites fisiológicos</i>	
Potencia anaeróbica aláctica y láctica	
	 FUERZA EXPLOSIVA
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>
Eficiencia anaeróbica aláctica e intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Resíntesis del PCr – Eliminación de lactato – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones – Capacidad aeróbica glucolítica* – Termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico* – Economía del esfuerzo
	 RESISTENCIA A LA FUERZA EXPLOSIVA
<i>Nivel dificultado</i>	
Mayor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada Mayor duración del esfuerzo de las acciones de intensidad elevada Mayor número de acciones de intensidad elevada Menor tiempo de recuperación activa y pasiva entre acciones de intensidad elevada Mayor intensidad en la recuperación activa entre acciones de intensidad elevada	
<i>Nivel facilitado</i>	
Menor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada Menor duración del esfuerzo de las acciones de intensidad elevada Menor número de acciones de intensidad elevada Mayor tiempo de recuperación activa y pasiva entre acciones de intensidad elevada Menor intensidad en la recuperación activa entre acciones de intensidad elevada	

* Dependiente de la duración y características de la competición.

Original de los autores.

De acuerdo con este análisis, el objetivo de trabajo de la resistencia en estas modalidades deportivas es desarrollar todos los factores asociados a la manifestación de **resistencia a la fuerza explosiva**. Un descenso de la fuerza explosiva durante la ejecución de las sucesivas acciones de máxima intensidad se asocia a la incapacidad para manifestar la potencia anaeróbica aláctica, al menos parte del tiempo que dura la ejecución motriz. Es probable que simultáneamente o en las acciones motrices siguientes el deportista esté incapacitado también para manifestar su potencia anaeróbica láctica. En este caso, se observa un menor descenso de la fuerza explosiva en los deportistas que son capaces de manifestar su potencia anaeróbica aláctica y láctica

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

durante más tiempo y/o que son capaces de manifestar un mayor porcentaje de resíntesis del ATP respecto a la potencia de que disponen de estas vías metabólicas. Este análisis determina que, cuando el deportista no es capaz de manifestar su potencia aláctica y láctica durante toda o parte de la ejecución de la acción motriz, el objetivo del entrenamiento de resistencia en estas modalidades deportivas es el desarrollo de la **zona de intensidad más elevada de eficiencia anaeróbica** aláctica y láctica. En los esfuerzos máximos continuos, esta zona metabólica se asocia a la incapacidad para manifestar la potencia anaeróbica aláctica y láctica a partir de los 6 seg de esfuerzo. En los esfuerzos intermitentes, la duración de las acciones ejecutadas a máxima intensidad es significativamente inferior a 6 seg. En estos deportes se manifiesta esta zona metabólica como consecuencia de la repetición de acciones de intensidad máxima de menor duración con intervalos de pausas activas o pasivas que no permiten la resíntesis completa de los depósitos de PCr.

TABLA 4.47. Factores de rendimiento específicos y niveles de entrenamiento facilitado y dificultado de la resistencia de las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes no ejecutadas a la máxima intensidad

<i>Límites fisiológicos</i>	
Potencia anaeróbica aláctica y láctica	
↓	
MÁXIMO NIVEL DE FUERZA	
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>
Eficiencia anaeróbica aláctica e intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica* – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones* – Economía del esfuerzo
↓	
FUERZA RESISTENCIA	
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Resíntesis de la PCr – Eficiencia anaeróbica aláctica – Eliminación de lactato – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones – Economía del esfuerzo
↓	
RESISTENCIA A LA FUERZA RESISTENCIA	
<i>Nivel dificultado</i>	
Mayor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada Mayor duración del esfuerzo en las acciones de intensidad elevada Mayor número de acciones de intensidad elevada Menor tiempo de recuperación activa y pasiva entre acciones de intensidad elevada Mayor intensidad en la recuperación activa entre acciones de intensidad elevada	
<i>Nivel facilitado</i>	
Menor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada Menor duración del esfuerzo en las acciones de intensidad elevada Menor número de acciones de intensidad elevada Mayor tiempo de recuperación activa y pasiva entre acciones de intensidad elevada Menor intensidad en la recuperación activa entre acciones de intensidad elevada	
* Únicamente en acciones motrices próximas al fallo muscular. Original de los autores.	

Uno de los factores que determinan el grado de utilización de la zona de eficiencia anaeróbica aláctica y láctica es la **capacidad anaeróbica aláctica** del deportista. Recordemos que la capacidad anaeróbica aláctica engloba la cantidad disponible de PCr y su grado de depleción durante el esfuerzo. El desarrollo de la capacidad anaeróbica aláctica es probablemente la principal vía de optimización de la resistencia en los esfuerzos intermitentes asociados a la ejecución sucesiva de acciones motrices a la máxima intensidad. Esto se puede comprender, al menos desde una perspectiva teórica y didáctica, mediante los análisis representados en las figuras 4.107 y 4.108. En la figura 4.107 se muestra la influencia de la cantidad basal de PCr sobre la evolución

de este sustrato y del lactato muscular durante la ejecución sucesiva de esfuerzos intermitentes a la máxima intensidad, y su influencia sobre el rendimiento. Para eliminar la influencia de otras variables, se asume en la comparación de los dos supuestos deportistas el mismo grado de disminución de la PCr y de aumento del lactato para todos los esfuerzos, $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, respectivamente, así como el mismo nivel de resíntesis de la PCr ($30 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) y de eliminación de lactato ($2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) en los períodos de recuperación. También se ha establecido el mismo nivel de depleción máxima de PCr, $10 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. El deportista “B”, al disponer de menor cantidad de PCr, puede realizar un menor número de esfuerzos aplicando su máxima fuerza explosiva. En el ejemplo representado, este deportista afronta el tercero y cuarto esfuerzos con un nivel de PCr insuficiente, respectivamente, 50 y $40 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Lógicamente, el déficit de 10 y $20 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ de PCr que tiene para afrontar estos 2 esfuerzos implica, además de una disminución progresiva en la aplicación de fuerza, un incremento progresivo de la aportación de energía mediante el metabolismo anaeróbico láctico. Asumiendo un incremento del lactato muscular de $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ por cada $10 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ de déficit de PCr, se produce un incremento total de 4 y $5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ para la ejecución respectiva del tercero y cuarto esfuerzos del deportista. Este incremento añadido de la concentración de lactato muscular está asociado a que en la ejecución del siguiente esfuerzo desarrolle una intensidad muy baja o tenga que regular su esfuerzo ampliando el tiempo de recuperación. En cambio, el deportista “A” no tiene limitación de la aplicación de su fuerza explosiva hasta la ejecución del cuarto esfuerzo, que debe afrontar con nivel insuficiente de PCr, $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, y por consiguiente puede realizar un mayor número de esfuerzos a una intensidad relativamente elevada. En la figura 4.108 se muestra la influencia añadida de la capacidad de agotar en mayor grado los depósitos de PCr sobre la aplicación de la máxima fuerza y sobre la limitación para realizar acciones a una intensidad relativamente elevada. En este caso, el deportista “B”, además de disponer de menor cantidad de PCr, tiene limitado su nivel de depleción a una concentración de $30 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Para la ejecución del segundo esfuerzo, sus reservas de PCr son ya insuficientes para manifestar su fuerza explosiva máxima (figura 4.108a). Esto se asocia a una concentración de lactato más elevada, limitando en mayor medida el número de acciones que pueden ser ejecutadas a máxima intensidad (figura 4.108b).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Se ha descrito una elevada correlación entre la capacidad de resíntesis de la PCr en el período de recuperación y el rendimiento en los sucesivos esprints (Spencer *et al.*, 2006; Bogdanis *et al.*, 1995). A este respecto, hay que recordar que en los esfuerzos intermitentes la mayoría de las acciones motrices de intensidad elevada deben ser afrontadas con una reserva de PCr inferior al nivel basal. En consecuencia, la **resíntesis de la PCr** en los períodos de menor intensidad y de recuperación pasiva es el factor más determinante de la cantidad de PCr de la que realmente va a disponer un deportista para la ejecución de acciones a intensidad máxima. Un análisis didáctico de la importancia de la resíntesis del PCr para el rendimiento se muestra en la figura 4.109. Para eliminar la influencia de otras variables, en la comparación de los 2 deportistas representados se ha equiparado la cantidad basal de PCr, el grado de disminución de PCr y de incremento de lactato en cada esfuerzo, el grado máximo de depleción de PCr y el grado de eliminación de lactato en los períodos de recuperación. Así, la única diferencia entre los 2 deportistas está asociada al grado de resíntesis de la PCr en el período de recuperación, 30 y 20 mmol·kg⁻¹, respectivamente, para los deportistas “A” y “B”. Atendiendo al nivel de depleción de la PCr establecido previamente, esta diferencia determina que el deportista “B” tiene un déficit de 10 y 30 mmol·kg⁻¹ de PCr para aplicar su fuerza explosiva en el tercero y cuarto esfuerzos, mientras que el deportista “A” únicamente tiene un déficit de 10 mmol·kg⁻¹ en el cuarto esfuerzo (figura 4.109a). De forma análoga a lo observado para la capacidad anaeróbica aláctica, la deficiencia de los niveles de PCr determina un incremento progresivo de la concentración de lactato muscular, limitando la posibilidad de continuar la sucesión de esfuerzos a una intensidad relativamente elevada (figura 4.109b).

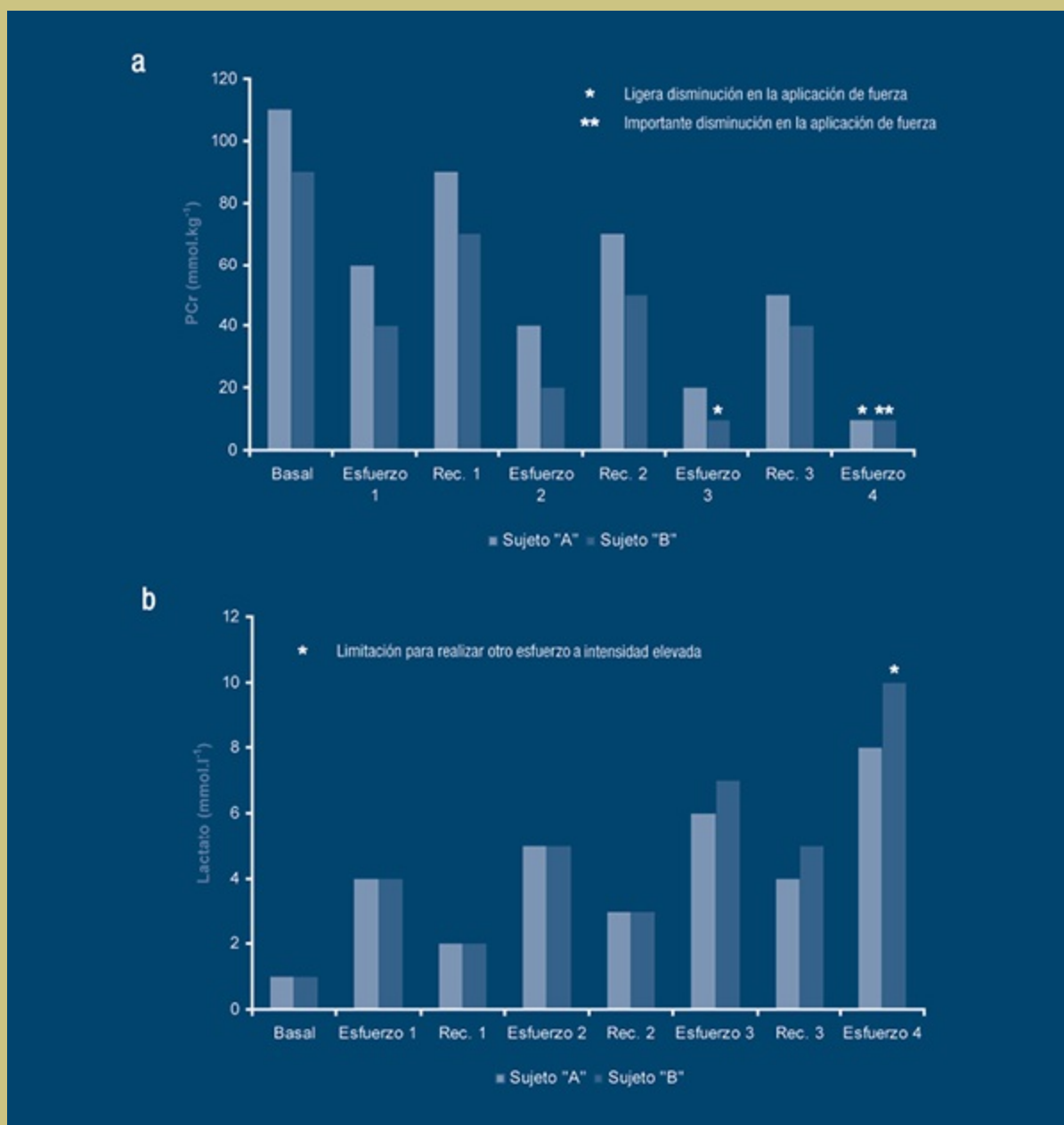


FIGURA 4.107. Modelo teórico de la influencia de la cantidad basal de PCr sobre la evolución de este sustrato (a) y del lactato (b) y su asociación con el rendimiento durante la ejecución sucesiva a máxima intensidad de esfuerzos intermitentes. Los deportistas con mayor cantidad basal de PCr pueden ejecutar más esfuerzos a intensidad elevada y con menor concentración de lactato. Véase el texto para un análisis detallado.

Original de los autores con datos hipotéticos.

De acuerdo con estos análisis, para el rendimiento en los esfuerzos

intermitentes que requieren la sucesión de acciones motrices a la máxima intensidad tal vez sea relevante una suplementación con creatina. Hasta la fecha no existen resultados concluyentes; por ejemplo, se observaron mejoras del rendimiento en fútbol (Cox *et al.*, 2002) y hockey sobre hielo (Jones *et al.*, 1999) y no mejoras en hockey sobre hielo (Cornish *et al.*, 2006) y tenis (Pluim *et al.*, 2006). Por otra parte, se ha descrito que la suplementación con creatina puede incrementar la *ratio* de resíntesis de la PCr en el período de recuperación entre esprines y después de repetidos esprines (Yquel *et al.*, 2002), determinando un mayor rendimiento (Yquel *et al.*, 2002; Preen *et al.*, 2001).

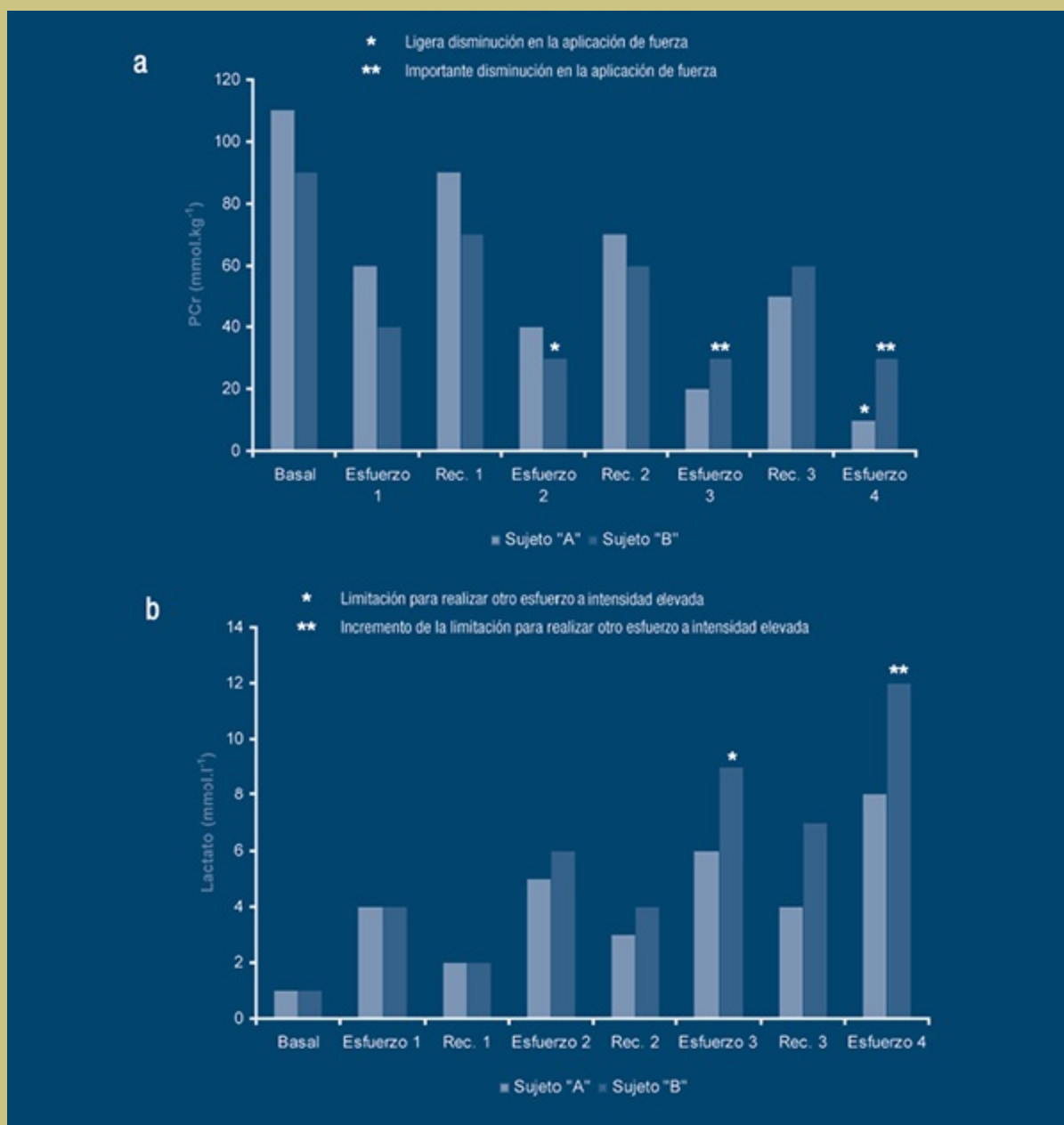


FIGURA 4.108. Modelo teórico de la influencia de la cantidad basal de PCr y su grado de depleción sobre la evolución de este sustrato (a) y del lactato (b) y su asociación con el rendimiento durante la ejecución sucesiva a máxima intensidad de esfuerzos intermitentes. Los deportistas con mayor capacidad de depleción de PCr pueden ejecutar más esfuerzos a intensidad elevada y con menor concentración de lactato. Véase el texto para un análisis detallado.

Original de los autores con datos hipotéticos.

La capacidad de resíntesis de la PCr en los períodos de recuperación
 *****ebook converter DEMO Watermarks*****

depende de la disponibilidad de O_2 (Haseler *et al.*, 1999). Probablemente, debido a que durante la recuperación activa una considerable proporción de la producción de ATP en la mitocondria debe ser utilizada para mantener la actividad muscular, la resíntesis de la PCr es mayor en los períodos de recuperación pasiva (Spencer *et al.*, 2006; McAinch *et al.*, 2004). Este aspecto se ha de considerar en aquellas competiciones en las que es posible realizar períodos de recuperación pasiva. La importancia de la disponibilidad de O_2 para la resíntesis de la PCr ha determinado que algunos autores consideren el VO_2 máx. un factor determinante del rendimiento en los esfuerzos intermitentes. Es cierto, como hemos especificado en el análisis del VO_2 durante la competición, que se requiere un mayor porcentaje de VO_2 en las modalidades deportivas con menor recuperación entre las acciones de intensidad máxima. Es posible que un nivel de VO_2 máx. muy bajo sea insuficiente para suministrar el O_2 necesario en los períodos de recuperación activa en los procesos de resíntesis de la PCr, oxidación del lactato y mantenimiento del nivel de actividad que se esté realizando. Sin embargo, el que un deportista con un mayor VO_2 máx. pueda optimizar los procesos fisiológicos durante la recuperación no determina un mayor rendimiento en la sucesión de esfuerzos intermitentes ejecutados a la intensidad máxima. De hecho, es evidente que en los esfuerzos intermitentes los sujetos con un VO_2 máx. elevado, aunque puedan mantener un mayor grado de su máxima aplicación de fuerza, tienen un rendimiento final significativamente inferior debido a su incapacidad para manifestar niveles elevados de fuerza explosiva. Un importante dato que confirma que únicamente es necesario niveles no deficitarios de VO_2 máx. para obtener un elevado rendimiento en los esfuerzos intermitentes es que los deportistas con éxito en estas modalidades tienen un nivel de VO_2 máx. relativamente bajo, ligeramente superior a los niveles descritos en sujetos sedentarios y significativamente inferior al de los deportistas que compiten en esfuerzos máximos continuos de una duración superior a 30 seg.

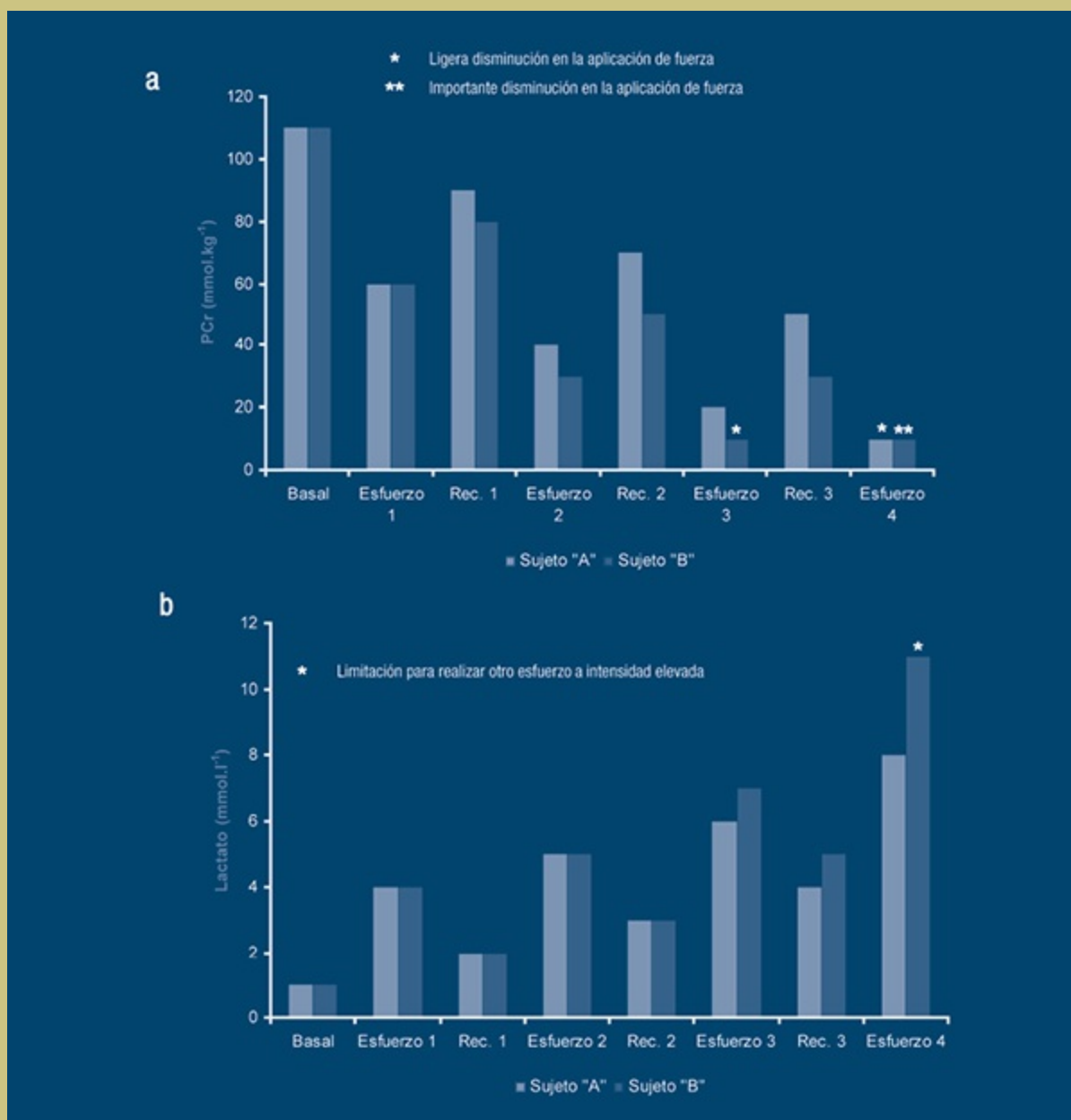


FIGURA 4.109. Modelo teórico de la influencia de la capacidad de resíntesis de PCr sobre la evolución de este sustrato (a) y del lactato (b) y su asociación con el rendimiento durante la ejecución sucesiva a máxima intensidad de esfuerzos intermitentes. Los deportistas con mayor capacidad de resíntesis de la PCr pueden ejecutar más esfuerzos a intensidad elevada y con menor concentración de lactato. Véase el texto para un análisis detallado.

Original de los autores con datos hipotéticos.

Los deportistas con una menor **capacidad de eliminación de lactato**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

muscular tienen que afrontar los sucesivos esfuerzos a intensidad elevada con mayor concentración de lactato, limitando en consecuencia el nivel de aplicación de fuerza y el número de acciones que pueden realizar a una intensidad relativamente elevada. La limitación para realizar acciones a intensidad elevada también es mayor en los deportistas con menor desarrollo de la tolerancia a la acidez inducida por la concentración de lactato muscular. De hecho, el nivel de **tolerancia láctica** va a determinar la velocidad de la resíntesis del ATP por vía láctica en los esfuerzos en los que, debido a la fatiga, no puede manifestarse la potencia anaeróbica láctica. El nivel máximo de concentración de lactato observado en los esfuerzos intermitentes no es excesivamente elevado (4-12 mmol·l⁻¹ en función de las distintas modalidades deportivas). Sin embargo, con estos niveles de concentración de lactato se requiere el máximo requerimiento energético por unidad de tiempo durante las sucesivas acciones realizadas a máxima intensidad.

En los esfuerzos intermitentes, al igual que en el resto de modalidades deportivas limitadas en su rendimiento por la resistencia, es determinante del rendimiento una aplicación más económica del esfuerzo. En este caso, una mejor **economía del esfuerzo** se asocia a la posibilidad de manifestar más fuerza en las acciones ejecutadas a intensidad máxima, y también, por ejemplo, en los desplazamientos se asocia con desarrollar la misma velocidad con menor gasto energético y, por tanto, con un nivel inferior de depleción de PCr y de producción de lactato.

Aunque con una importancia relativa inferior a la especificada en los esfuerzos continuos de larga duración, la capacidad de **termorregulación** y de **equilibrio hidroelectrolítico** influye en el rendimiento de los esfuerzos intermitentes caracterizados por una duración prolongada de la competición. En estos esfuerzos intermitentes de duración prolongada también es discutida la influencia sobre el rendimiento de la **capacidad aeróbica glucolítica**. Así, por ejemplo, en fútbol se ha mostrado que la ingesta de 7 ml por kg de una bebida con hidratos de carbono y electrolitos al principio (promedio 538 ml) y en el descanso (promedio 538 ml) supone un volumen adecuado para prevenir la deshidratación en condiciones normales de temperatura y para incrementar el grado de oxidación mediante el consumo de hidratos de carbono, lo que probablemente determine un incremento de la capacidad de resistencia (Clarke *et al.*, 2008). Estos resultados confirman hallazgos previos en los que se asoció la ingesta de hidratos de carbono con un mantenimiento de los niveles de glucosa y una reducción de la percepción subjetiva de fatiga

(Backhouse *et al.*, 2007). En una reciente revisión se ha sugerido que la ingesta de hidratos de carbono antes, durante y después de una sesión de entrenamiento o un partido de tenis de más de 90 min puede ser una estrategia adecuada para incrementar el rendimiento (Kovacs, 2006). También se ha demostrado que los partidos de tenis disputados a una mayor temperatura ambiental están asociados a una menor duración de los puntos y a un menor tiempo efectivo de juego real (Morante y Brotherhood, 2008). Efectivamente, en los esfuerzos intermitentes es posible una regulación de la *ratio* de trabajo para que no haya unas variaciones de la homeostasis excesivas y para asegurarse de que es posible mantener un óptimo rendimiento durante toda la competición.

En las acciones motrices de los **esfuerzos intermitentes que no requieren acciones ejecutadas a la máxima intensidad**, la zona metabólica depende del nivel de carga que debe superar el deportista. Habitualmente, de estas acciones, las que están más limitadas en su rendimiento por la capacidad de resistencia se caracterizan por una manifestación de **fuerza resistencia**, debiendo superar una carga relativamente elevada, que en determinadas ocasiones se ha de aplicar mediante una acción isométrica durante parte o la totalidad del esfuerzo. Éste es el caso de acciones motrices asociadas a los deportes de combate y a otros esfuerzos intermitentes como rugby, gimnasia deportiva y escalada. Probablemente, la carga a superar en otras acciones motrices que requieren la manifestación de fuerza resistencia como en los deportes de precisión y de motor es relativamente menor. Por este motivo, en estas modalidades deportivas, excepto en deportistas con niveles deficitarios, es posible que no exista una disminución de la aplicación de fuerza durante el desarrollo de la competición. Debido al nivel de carga, las acciones motrices que requieren la manifestación de fuerza resistencia con cargas elevadas no pueden mantenerse mucho tiempo, 615 seg. Sin embargo, la observación de la competición de estos deportes demuestra que la duración de las acciones motrices que requieren fuerza resistencia es habitualmente inferior. Independientemente de la duración del esfuerzo, el nivel de carga determina la necesidad de un requerimiento energético por unidad de tiempo relativamente elevado, que debe ser satisfecho por las vías metabólicas con mayor producción energética, las vías anaeróbicas aláctica y láctica. En este caso, al no ser necesaria la aplicación máxima de fuerza, no se manifiesta la potencia aláctica y láctica, y en consecuencia, independientemente de la duración, el esfuerzo se desarrolla en la zona de eficiencia anaeróbica aláctica

y en la intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica láctica. Como se ha especificado en el capítulo 3, unas mayores capacidades anaeróbica aláctica y de tolerancia láctica son determinantes del rendimiento de fuerza resistencia en las acciones motrices que requieren un esfuerzo próximo al fallo muscular. En la mayoría de las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes que no requieren una manifestación de fuerza resistencia próxima al fallo muscular, el factor más determinante para el rendimiento global de la competición durante la ejecución de una única acción motriz es el **nivel máximo de fuerza** de que dispone el deportista, que constituye su **límite fisiológico**. Desde una perspectiva metabólica, el nivel máximo de fuerza está limitado por la potencia anaeróbica aláctica y láctica, y desde una perspectiva neuromuscular lo está por el nivel de reclutamiento y la frecuencia de estimulación de las unidades motrices. La importancia del nivel máximo de fuerza para la optimización del rendimiento en los esfuerzos intermitentes caracterizados por la ejecución sucesiva de esfuerzos que requieren la manifestación de fuerza resistencia está ilustrada en la figura 4.110.

En los dos supuestos deportistas comparados, el deportista “B”, al disponer de un menor nivel máximo de fuerza, requiere para la ejecución del primer esfuerzo en que se manifiesta la fuerza resistencia un porcentaje relativamente superior. Aunque para la ejecución del esfuerzo, los dos deportistas precisan en términos absolutos un requerimiento energético equivalente, relativamente el deportista “B” solicita un mayor grado de su potencia aláctica y láctica, desarrollando en consecuencia el esfuerzo a una intensidad relativa de la zona de eficiencia aláctica y láctica superior, lo que determina un mayor agotamiento de los depósitos de PCr, mayor concentración de lactato muscular y, siguiendo el “principio de la talla”, una mayor participación de las fibras rápidas. Considerando que la recuperación entre los esfuerzos que solicitan la manifestación de fuerza resistencia es incompleta, el nivel máximo de fuerza del que disponen ambos deportistas para afrontar las sucesivas acciones motrices disminuye progresivamente durante el desarrollo de la competición. Probablemente, la disminución del nivel máximo de fuerza será más acusada en el deportista “B” debido al mayor nivel de fatiga asociada a la ejecución de cada esfuerzo a una intensidad relativa superior. Pero, incluso asumiendo en el ejemplo expuesto que los dos deportistas deben afrontar los sucesivos esfuerzos con una disminución del nivel máximo de fuerza equivalente, 200 N por esfuerzo,

observamos que en el tercer esfuerzo el deportista “B” ya no dispone de la fuerza requerida para ejecutar una acción motriz con el mismo nivel de exigencia y, en consecuencia, su nivel de rendimiento disminuirá o, en función de las características de esta acción, ni tan siquiera podrá realizarla.

El objetivo del entrenamiento en los esfuerzos intermitentes que requieren la sucesiva manifestación de fuerza resistencia es incrementar el número de acciones motrices que pueden ser ejecutadas sin disminuir la aplicación de fuerza, y que cuando la fatiga conduzca inevitablemente a un descenso en la aplicación de fuerza, éste sea de la menor magnitud posible. Considerando que la ejecución de una única acción motriz que requiere la manifestación de fuerza resistencia con cargas elevadas se desarrolla en la intensidad más elevada de la zona de eficiencia anaeróbica aláctica y láctica, la disminución en la aplicación de fuerza durante los sucesivos esfuerzos implica que la capacidad de **resistencia a una manifestación de fuerza resistencia** se desarrolla en una zona metabólica de intensidad relativa inferior, la **zona de intensidad elevada de eficiencia anaeróbica** láctica. Para la optimización de la resistencia a la fuerza resistencia y de su zona metabólica de trabajo, además de incidir en el desarrollo de un nivel óptimo de aplicación máxima de fuerza que determine una intensidad relativa de esfuerzo inferior, se requiere desarrollar de forma equivalente al resto de esfuerzos intermitentes los factores asociados a la recuperación incompleta entre esfuerzos.

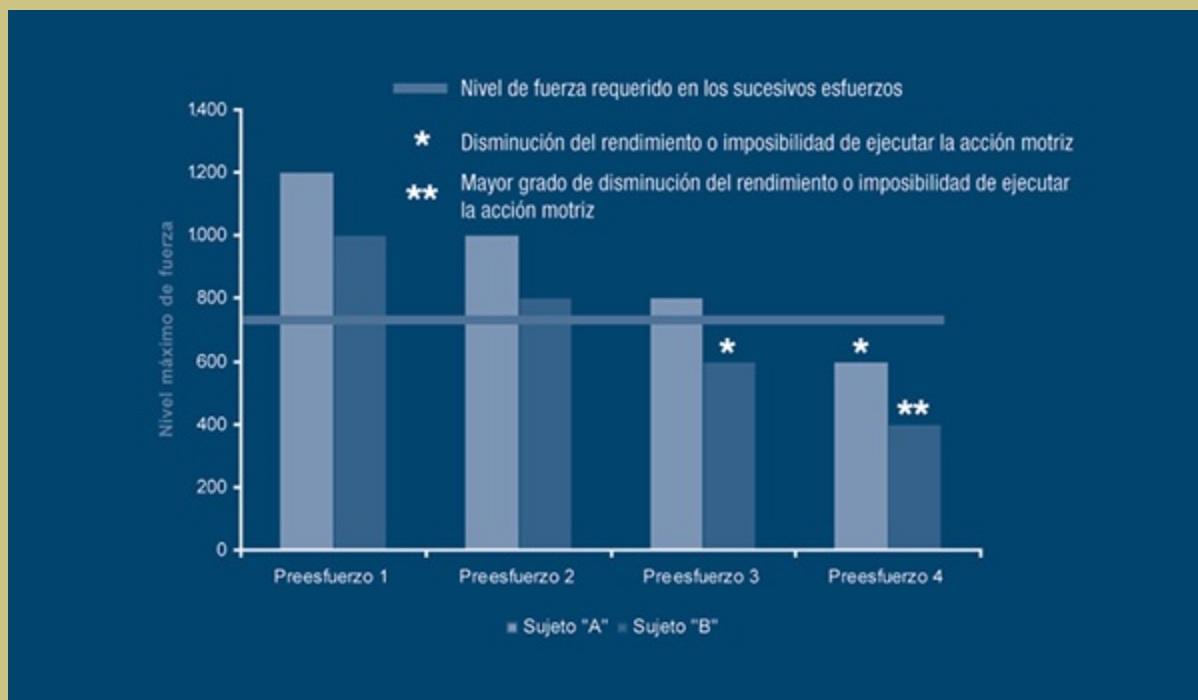


FIGURA 4.110. Modelo teórico de la influencia del nivel máximo de fuerza sobre el rendimiento de la ejecución intermitente de acciones motrices que requieren la manifestación de fuerza resistencia. En esfuerzos intermitentes que requieren la manifestación de fuerza resistencia, los niveles máximos de fuerza son determinantes del rendimiento, especialmente cuando la resistencia que hay que superar es elevada.

Original de los autores con datos hipotéticos.

Los depósitos de PCr no se agotan durante la ejecución de una única acción motriz que requiere, sin llegar al fallo muscular, la manifestación de fuerza resistencia con cargas altas. Sin embargo, de forma equivalente a lo establecido para la sucesión de esfuerzos ejecutados a máxima intensidad, una mayor **capacidad anaeróbica aláctica** determina que un mayor número de esfuerzos puedan ser ejecutados sucesivamente sin una disminución en la aplicación de fuerza resistencia. Debido a la recuperación incompleta entre esfuerzos, la **capacidad de resíntesis del PCr** y su grado de utilización mediante el desarrollo de la eficiencia aláctica y la **capacidad de eliminación de lactato** muscular son determinantes del número de esfuerzos que pueden ser ejecutados sin disminuir la aplicación de fuerza, y especialmente de que la disminución del rendimiento como consecuencia de la fatiga sea de menor magnitud. Igualmente, un mayor desarrollo de la **tolerancia láctica** va a permitir un mayor grado de utilización de la zona de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

eficiencia anaeróbica láctica en las acciones motrices limitadas en su rendimiento por la fatiga. Como en todos los esfuerzos, una mejor **economía del esfuerzo** implica un menor gasto energético para la misma eficacia de rendimiento, asociado en este caso a un menor grado de depleción de PCr y de producción de lactato.

Las vías para establecer los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado** son las mismas para los esfuerzos intermitentes que requieren la manifestación de resistencia a la fuerza explosiva o de la manifestación de resistencia a la fuerza resistencia: (i) modificar las características de los esfuerzos ejecutados a intensidad elevada, y (ii) modificar las características del período de recuperación activa y pasiva. La modificación de los esfuerzos incide en relación con la competición en un menor o mayor grado de depleción de PCr y de concentración de lactato muscular, en función de si disminuyen o aumentan la magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza, la duración del esfuerzo y el número de esfuerzos. La modificación del período de recuperación entre esfuerzos incide en relación con la competición en un menor o mayor grado de resíntesis de la PCr y de eliminación de lactato muscular en función de si disminuye o aumenta el tiempo de recuperación activa y pasiva y la intensidad de las acciones realizadas durante la recuperación activa.

4.5. Metodología del entrenamiento en los esfuerzos intermitentes

Según el análisis realizado desde diferentes puntos de vista, la **metodología del entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes** requiere una aproximación diferenciada y específica. Esto implica, al igual que en los esfuerzos continuos, que todos los **métodos de entrenamiento** para el desarrollo de la resistencia en los esfuerzos intermitentes deben aproximarse a la motricidad específica de la competición. En el caso de los esfuerzos intermitentes, aunque puedan establecerse unas directrices comunes, esto supone un método diferenciado para cada modalidad deportiva. Además de considerar las acciones motrices, deben plantearse métodos de optimización de la resistencia que requieran simultáneamente un nivel de exigencia y especificidad de los procesos informacionales equiparables a los manifestados en competición. En los esfuerzos intermitentes, los métodos de

entrenamiento pueden clasificarse en los que no simulan la competición (**métodos que no simulan la competición**), incidiendo exclusivamente en el desarrollo de la resistencia de acciones motrices concretas, y los que simulan la competición (**métodos que simulan la competición**), que simultáneamente optimizan todos los factores de rendimiento. Todos estos métodos de trabajo son útiles para optimizar los tres niveles de entrenamiento.

Métodos que simulan la competición

El objetivo de trabajo de los **métodos que simulan la competición** es el desarrollo simultáneo de todos los factores que inciden en el rendimiento de los esfuerzos intermitentes. Debido a la dificultad de reproducir con otros métodos de trabajo la motricidad de las acciones motrices y las demandas de duración, intensidad y recuperación de los esfuerzos, la simulación de la competición es el método de mayor utilidad para optimizar los distintos niveles de entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes. En las modalidades deportivas con elevada frecuencia de competiciones oficiales, como en los deportes de equipo, deportes de motor y tenis, la propia competición es la principal vía de optimización de la resistencia. Diferenciaremos entre los **métodos continuos que simulan la competición** y los **métodos fraccionados que la simulan**.

Métodos continuos que simulan la competición

Los **métodos continuos que simulan la competición** deben incorporar **todos los condicionantes de la competición**, incluida una duración de esfuerzo considerable. Mediante la aplicación de métodos continuos que simulan la competición resulta complicado alcanzar los niveles de exigencia de resistencia requeridos en las competiciones oficiales, especialmente en las modalidades deportivas en que el deportista tiene mayor capacidad de decisión sobre la intensidad del esfuerzo. Por este motivo, la mayoría de los entrenamientos continuos que simulan la competición, como son los partidos en los deportes de raqueta y deportes de equipo y los combates en los deportes de lucha, realmente inciden en el **nivel de entrenamiento facilitado** del deportista. Con el fin de incidir en un **nivel de entrenamiento específico y dificultado** es necesario adoptar estrategias dirigidas a una mayor exigencia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de los esfuerzos ejecutados a intensidad elevada o máxima y de los períodos de recuperación. El conocimiento y el carácter innovador del entrenador son esenciales para plantear numerosas situaciones que permitan intensificar el estímulo de entrenamiento en la aplicación de métodos continuos que simulan la competición. En la tabla 4.48 se enumeran varios ejemplos que pueden ser aplicados en los distintos esfuerzos intermitentes.

TABLA 4.48. Estrategias para intensificar el estímulo de entrenamiento de los esfuerzos intermitentes mediante la aplicación de métodos continuos que simulan la competición

Deportes de equipo	Reducción de pausas pasivas, mayor tiempo de competición de cada jugador, menor número de jugadores, rivales descansados y/o de mayor nivel de rendimiento, incidencia de tareas específicas en uno o varios jugadores, lastres, incrementar las situaciones de mayor presión (igualdad de marcador, tiempo para el final, tiempo de posesión del móvil, modificación del marcador, etc.)
Deportes de raqueta	Reducción de pausas pasivas, ampliación del terreno de competición, rivales descansados y/o de mayor nivel de rendimiento, lastres, incrementar las situaciones de mayor presión (igualdad de marcador, tiempo para el final, modificación del marcador, etc.)
Deportes de combate	Reducción del tiempo entre combates, menor duración de cada combate, rivales descansados y/o de mayor peso y/o de mayor nivel de rendimiento, lastres, incremento de las situaciones de mayor presión (igualdad de marcador, tiempo para el final, modificación del marcador, etc.)
Deportes compositivos	Coreografías de menor duración que incluyan mayor número de esfuerzos de elevada exigencia, coreografías ejecutadas a mayor velocidad, lastres, etc.
Deportes de motor	Mayor duración de la competición, circuitos con mayor exigencia, simulación de la competición en aparatos con mayor resistencia de la dirección
Deportes de precisión	Reducción del tiempo entre intentos, mayor duración de cada intento, incremento del grado de tensión mediante lastres o modificando el nivel de resistencia
Otros esfuerzos intermitentes	Lastres o vías de escaladas de mayor dificultad, circuitos de navegación más exigentes, etc.

Original de los autores.

La **intensificación del entrenamiento** se realiza básicamente modificando las características de la recuperación pasiva, del tiempo de competición continuada, de las acciones de mayor exigencia, de los rivales de competición, de las condiciones de presión de la competición y de la magnitud de fuerza. Un criterio básico para intensificar el estímulo de entrenamiento es reducir el número de períodos de recuperación pasiva y/o el tiempo de recuperación. La reducción del número de períodos de recuperación pasiva aumenta simultáneamente el tiempo de competición continuada. También cabe plantear situaciones que incrementen la duración

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

continuada promedio de la acción de competición manteniendo los períodos de recuperación pasiva. Se requiere mayor exigencia del deportista cuando se incrementa también el tiempo total de competición: tiempo de participación de los jugadores en algunos deportes de equipo, número de juegos en los deportes de raqueta, duración de los combates, duración de las coreografías en los deportes compositivos, etc. Sin embargo, hay que considerar que una mayor duración de la competición probablemente está asociada a una intensidad y frecuencia menores de las fases de mayor exigencia. Las acciones de mayor exigencia pueden modificarse reduciendo el número de jugadores por espacio en los deportes de equipo, incrementando las dimensiones de la competición en los deportes de raqueta, incluyendo mayor número de acciones de intensidad elevada en las coreografías y especialmente modificando a los rivales y las situaciones de presión. Los rivales con un rendimiento equivalente o ligeramente superior aseguran el mantenimiento de la intensidad el tiempo que dura el entrenamiento simulado. El cambio continuo de rivales intensifica todavía más el nivel de entrenamiento al tener que afrontar las situaciones de competición contra adversarios con menor fatiga. En algunos deportes, la principal vía de intensificación del entrenamiento es propiciar situaciones con elevada presión de rendimiento. El estímulo por ganar incrementa significativamente el nivel de motivación asociado a un mayor esfuerzo físico. Esto se consigue con una variedad de estrategias, que comprenden parcializar la competición para generar un mayor número de resultados finales, equilibrar el marcador con cambios de jugadores, disminuir en el entrenamiento el tiempo que los competidores tienen para solventar situaciones de puntuación desfavorable, limitar el tiempo de posesión del móvil, etc. También es interesante plantear situaciones de mayor presión en determinados competidores en los deportes de equipo, especialmente en los menos motivados para hacer entrenamientos de exigencia elevada mediante el planteamiento de otros métodos de trabajo. Este objetivo se consigue, por ejemplo, limitando el número de jugadores que pueden finalizar las acciones de ataque. La utilización de lastres ligeros es útil en la mayoría de los esfuerzos intermitentes para incrementar el nivel de exigencia asociado a la magnitud de fuerza. El aumento de la magnitud de fuerza también se realiza disputando la competición en terrenos más blandos, en circuitos más exigentes, incrementando el peso del implemento de competición y de los rivales, con ergómetros específicos que simulen la competición, etc. Lógicamente, la utilización de estas estrategias en sentido

inverso incide en el nivel de entrenamiento facilitado asociado a la resistencia de los esfuerzos intermitentes.

Para mantener un nivel de motivación y de intensidad elevado en la ejecución de un método continuo que simule la competición, es habitual incluir simultánea y sucesivamente varias de las estrategias planteadas, alternando períodos de mayor y menor exigencia. Resulta imposible definir el tiempo de aplicación de las diferentes situaciones y en qué medida intensifican la exigencia del entrenamiento. A este respecto, el entrenador debe considerar que la intensificación del entrenamiento ha de producir un mayor grado de fatiga que en competición sin que la intensidad y la eficacia de las acciones motrices disminuyan excesivamente.

Métodos fraccionados que simulan la competición

Los **métodos fraccionados que simulan la competición** se caracterizan por la **ejecución global o parcial de todos los condicionantes de la competición** mediante la ejecución sucesiva de repeticiones de una duración muy inferior a la de competición. Si se establecen **repeticiones de muy corta duración**, por ejemplo, inferior a 15-20 seg, con el fin de incidir en el desarrollo de la resistencia, se deben ejecutar sucesivas repeticiones (6-10 repeticiones) con un período de recuperación similar al de la duración del esfuerzo. En este caso, un volumen óptimo de trabajo manteniendo un nivel de intensidad adecuado sólo es posible si se realizan varias series de repeticiones (3-4 series) con descanso completo entre las series (~ 5 min). Si se establecen **repeticiones de mayor duración**, por ejemplo de 1 a 3 min, es necesario un menor número total de repeticiones (6-12 repeticiones) con un período de descanso relativamente elevado (~ 5 min) que permita mantener una intensidad óptima de trabajo. Estos métodos de trabajo pueden ser utilizados para incidir en el **desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento**. Para ello, se requiere modificar los condicionantes de la competición siguiendo las directrices establecidas para los métodos continuos que simulan la competición. Sin embargo, la principal característica de los métodos fraccionados que simulan la competición es que únicamente mediante la ejecución de esfuerzos de una duración muy inferior a la de competición la intensidad que desarrolla el deportista es significativamente más elevada. En cierto modo, se puede afirmar que los métodos continuos y los métodos fraccionados que simulan la competición desarrollan,

respectivamente, la resistencia a la fuerza de corta y larga duración. En mayor o menor medida, en la mayoría de los esfuerzos intermitentes durante la competición el deportista regula el número de acciones que realiza a intensidad elevada y la duración de los períodos de recuperación activa. Desde esta perspectiva, a menor tiempo de duración de un trabajo de simulación de la competición, menor necesidad tiene el deportista de regular su esfuerzo aumentando el número de acciones ejecutadas a intensidad elevada. En este contexto se requiere ejecutar métodos fraccionados que simulen la competición con una amplia variedad de duración de las repeticiones. Aunque para la aplicación de estos métodos de trabajo se han establecido referencias de los componentes de entrenamiento, los numerosos planteamientos que cabe realizar para cada modalidad deportiva y el nivel de rendimiento diferenciado de cada competidor determinan que nuevamente el entrenador deba intensificar el nivel de exigencia considerando un mayor grado de fatiga que en competición sin disminución drástica de la intensidad y de la eficacia de las acciones motrices.

En los deportes de equipo, los métodos fraccionados que simulan la competición con una breve duración de las repeticiones pueden aplicarse planteando situaciones concretas de la competición como la repetición continua de contraataques y la repetición de situaciones de presión ejercida sobre los adversarios. En estos deportes, la disputa sucesiva de partidos de 1-3 min con un mayor tiempo de descanso y modificando o no el número de jugadores es el ejemplo de mayor aplicación de métodos fraccionados de mayor duración. En los deportes de raqueta, los métodos fraccionados que simulan la competición pueden incidir, por ejemplo, en la repetición sucesiva de puntos o de juegos incrementando mediante diversas estrategias los desplazamientos que debe realizar el jugador y disminuyendo el tiempo que transcurre entre cada golpeo. En los deportes de combate, los métodos fraccionados implican la repetición sucesiva de combates de menor o mayor duración, pudiendo intensificar además el estímulo de entrenamiento mediante la aplicación simultánea de otras estrategias como el cambio continuo de rivales. En los deportes compositivos, los métodos fraccionados pueden aplicarse mediante la repetición sucesiva de una parte de la coreografía de mayor o menor duración seleccionando específicamente las fases con mayor frecuencia de acciones de intensidad elevada. La repetición sucesiva de fases de elevada exigencia de menor o mayor duración es también la directriz más adecuada para la utilización de métodos fraccionados

en otros esfuerzos intermitentes como escalada o vela.

Métodos que no simulan la competición

Los métodos que simulan la competición requieren la ejecución global o parcial de todos los condicionantes de la competición, incidiendo en el desarrollo simultáneo de todos los factores de rendimiento condicionales, motores e informacionales. Los **métodos que no simulan la competición** inciden exclusivamente en el desarrollo de la resistencia específica en **acciones motrices concretas**: desplazamientos, saltos, lanzamientos, golpeos, agarres, etc. El objetivo de estos métodos de trabajo es desarrollar en estas acciones motrices la resistencia a la fuerza de corta duración mediante el control más preciso de los componentes del entrenamiento. La ejecución de acciones motrices concretas obliga a aplicar los **métodos fraccionados con una duración de las repeticiones muy breve**, equivalente o próxima a la duración de la acción motriz en competición. Para desarrollar la resistencia manteniendo una intensidad elevada durante un volumen de trabajo adecuado, se debe distribuir las repeticiones en series, con un descanso breve entre repeticiones y uno prolongado entre series. Diferenciaremos los métodos que no simulan la competición en aquellos en los que se ejecutan las acciones motrices a una intensidad equivalente a la de competición (**métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición**) y aquellos en los que la intensidad es relativamente inferior (**métodos fraccionados de intensidad inferior a la de competición**).

Métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición

Los **métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición** inciden en la ejecución de las acciones de mayor exigencia de los esfuerzos intermitentes a una intensidad equivalente a la de competición. La intensidad debe ser la máxima posible en cada una de las repeticiones del entrenamiento orientado a la mejora de la resistencia a la fuerza explosiva. Para el desarrollo de la resistencia a la fuerza resistencia, la intensidad debe ser al menos equivalente a la de competición. Además, el resto de los componentes del entrenamiento se han de definir sobre la base de la **simulación de las fases de mayor exigencia de la competición**. El desarrollo con una orientación

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

adecuada de los distintos niveles de entrenamiento mediante esta metodología únicamente es posible con el análisis específico de las fases de la competición de mayor exigencia. A este respecto, el análisis realizado en hockey sobre hierba por Spencer *et al.*, (2004) nos sirve de ejemplo para ilustrar el planteamiento de este método de trabajo. Según el análisis realizado por estos autores de las características de los desplazamientos en las fases de mayor intensidad (véase la tabla 4.45), en la figura 4.111 se representan los componentes del entrenamiento para el **desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento**.

El nivel de entrenamiento específico requiere ejecutar durante un intervalo de 1 a 5 seg aceleraciones y desaceleraciones con cambios de dirección a la máxima intensidad, con un período de recuperación activa de elevada exigencia. Además, hay que realizar en cada serie de 3 a 6 repeticiones con una duración de recuperación activa asociada al número de repeticiones. Como el deportista ve limitado su rendimiento por la imposibilidad de ejecutar un mayor número de acciones a intensidad máxima, el nivel de entrenamiento dificultado debe incidir específicamente en hacer un mayor número de repeticiones manteniendo la duración de la recuperación activa. Por ejemplo, 5-6 repeticiones con un período de recuperación de 15 seg, 4-5 repeticiones con un período de recuperación de 5 seg y 7-8 repeticiones con un período de recuperación de 20 seg. También lógicamente puede mantenerse el número de repeticiones disminuyendo el tiempo de recuperación activa y/o incrementando la exigencia en este período. Disminuir las repeticiones, incrementar la pausa y disminuir la intensidad durante la pausa son las directrices para desarrollar el nivel de entrenamiento facilitado. Este ejemplo puede ser adaptado para desarrollar la resistencia de los desplazamientos en otros esfuerzos intermitentes.

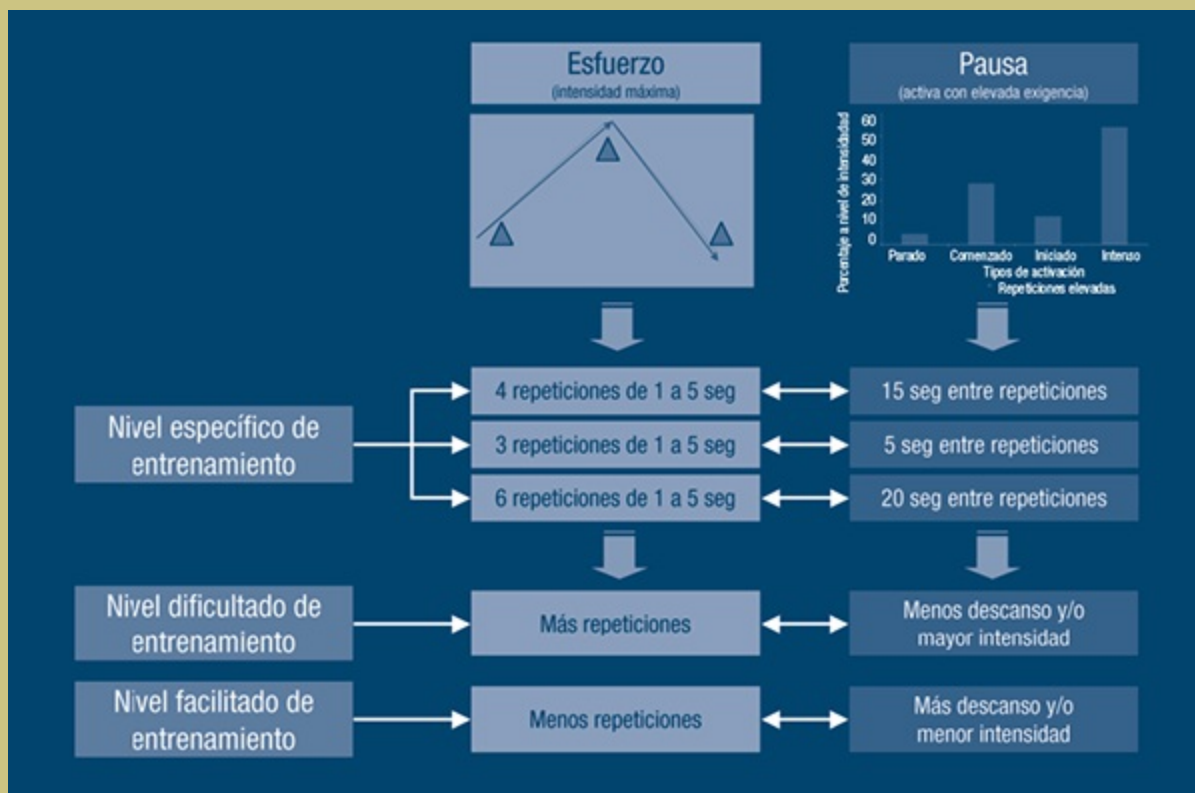


FIGURA 4.111. Características de los métodos fraccionados dirigidos al desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento de resistencia en los desplazamientos de hockey sobre hierba. De acuerdo con el análisis de las características de las fases de la competición de mayor exigencia, se puede establecer con precisión los componentes del entrenamiento para el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento mediante la aplicación de métodos fraccionados.

Original de los autores.

Resulta más complicado plantear con el mismo rigor los componentes de entrenamiento de los métodos fraccionados orientados al desarrollo de la resistencia de otras acciones motrices. A este respecto consideramos que para estas acciones cabe realizar un planteamiento similar al establecido en los desplazamientos de hockey sobre hierba. Así, en acciones acíclicas como los saltos, lanzamientos, golpes, levantamientos, agarres, etc., para incrementar la duración del esfuerzo a intensidad elevada, una repetición debe considerarse como la ejecución continuada de 3 a 6 acciones. Sucesivamente se repetirán estas acciones con períodos de recuperación de 5 a 20 seg estructurando las repeticiones en series. La ejecución de una acción puede considerarse una repetición cuando tiene mayor duración que las de las

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

acciones acíclicas y cuando la magnitud de fuerza es muy elevada. Éste es el caso, por ejemplo, de numerosos equilibrios realizados en gimnasia deportiva.

El análisis de los métodos fraccionados de intensidad equiparable a la de competición únicamente establece unos criterios de referencia que hay que adaptar a las infinitas combinaciones de acciones motrices y situaciones que cabe plantear en el entrenamiento. Pequeñas modificaciones de la duración del esfuerzo y/o del tiempo de recuperación pueden determinar un nivel de fatiga superior o inferior al previsto. Así, planteamientos teóricamente encaminados al desarrollo del nivel facilitado de entrenamiento pueden incidir en la práctica real en el desarrollo del nivel de entrenamiento dificultado, y viceversa. La misma consideración puede realizarse para distintos deportistas o para el mismo deportista en diferentes momentos de la temporada. En consecuencia, partiendo de unas directrices de entrenamiento teóricamente coherentes, es el entrenador quien debe modificar durante la aplicación del método de trabajo los componentes de entrenamiento para adaptarlos al objetivo de trabajo previsto. En este sentido, incidimos nuevamente en determinar objetiva o subjetivamente durante el entrenamiento el descenso de la velocidad y de la eficacia de las acciones motrices. La motivación continuada y la utilización de estrategias son necesarias para que realmente los deportistas ejecuten las acciones motrices a la máxima intensidad posible en cada una de las repeticiones.

Métodos fraccionados de intensidad inferior a la de competición

Los **métodos fraccionados de intensidad inferior a la de competición** son necesarios para el desarrollo del **nivel de entrenamiento facilitado**. Aunque con los métodos simulados y los métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición se puede incidir en el desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado, las acciones motrices se ejecutan a una intensidad elevada, lo que implica la manifestación de la fuerza explosiva en la mayoría de los esfuerzos intermitentes. En determinados períodos, por ejemplo, al inicio de cada temporada, el sistema muscular del deportista no está preparado para las acciones de intensidad elevada. Así pues, para disminuir el riesgo de lesión, se requiere una adaptación progresiva del sistema muscular y metabólico ejecutando las **acciones motrices a una intensidad inferior a**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

la de competición. En el transcurso de las sesiones, la intensidad y los restantes componentes del entrenamiento deben aproximarse progresivamente a los criterios establecidos en los métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición.

Aplicación de los métodos de entrenamiento

En la tabla 4.49 se muestra la asociación entre los métodos y los niveles de entrenamiento de la resistencia para las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes ejecutadas a la máxima intensidad. Esta asociación se muestra en la tabla 4.50 para las acciones no ejecutadas a la intensidad máxima.

De acuerdo con el análisis realizado de los métodos de entrenamiento, los métodos continuos y fraccionados que simulan la competición y los métodos fraccionados de intensidad equivalente a la de competición son adecuados para el **desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento** de resistencia de los esfuerzos intermitentes. Los métodos fraccionados de intensidad inferior a la de competición únicamente inciden en el nivel de entrenamiento facilitado. La resistencia de las **acciones motrices que requieren la máxima intensidad** de ejecución debe trabajarse sobre el **desarrollo de la fuerza explosiva**. Como se indica en el capítulo 3, la fuerza explosiva puede optimizarse mediante los métodos: fraccionado de intensidad máxima y recuperación completa, resistido, asistido y con sobrecargas. La resistencia para las **acciones motrices que no requieren la intensidad máxima**, habitualmente la manifestación de fuerza resistencia con cargas altas, debe trabajarse sobre el desarrollo de **niveles óptimos de fuerza máxima**. Para este objetivo se aplicará prioritariamente el trabajo con sobrecargas.

TABLA 4.49. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia en las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes ejecutadas a la intensidad máxima

Límites fisiológicos		Métodos
Potencia anaeróbica aláctica y láctica		Sobrecargas Resistidos Asistidos Fraccionados a intensidad máxima (mseg a 5 seg) y recuperación completa
↓		
FUERZA EXPLOSIVA A DISTINTOS NIVELES DE CARGA		
Zona metabólica específica	Factores de rendimiento	
Eficiencia anaeróbica aláctica e intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Resíntesis de la PCr – Eliminación de lactato – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones – Capacidad aeróbica glucolítica, termorregulación y equilibrio hidroelectrolítico – Economía del esfuerzo	Fraccionados a intensidad equivalente a la de competición
		Fraccionados y continuos que simulan la competición
↓		
RESISTENCIA A LA FUERZA EXPLOSIVA A DISTINTOS NIVELES DE CARGA		
Nivel dificultado		
Mayor magnitud de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada		Fraccionados a intensidad equivalente a la de competición
Mayor duración del esfuerzo en las acciones de intensidad elevada		
Mayor número de acciones de intensidad elevada		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Menor tiempo de recuperación activa y pasiva en acciones de intensidad elevada		
Mayor intensidad en la recuperación activa en acciones de intensidad elevada		
Nivel facilitado		
Menor magnitud de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada		Fraccionados a intensidad equivalente o inferior a la de competición
Menor duración del esfuerzo en las acciones de intensidad elevada		
Menor número de acciones de intensidad elevada		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Mayor tiempo de recuperación activa y pasiva en acciones de intensidad elevada		
Menor intensidad en la recuperación activa en acciones de intensidad elevada		

Original de los autores.

TABLA 4.50. Métodos de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia en las acciones motrices de los esfuerzos intermitentes no ejecutadas a la intensidad máxima

<i>Límites fisiológicos</i>		<i>Métodos</i>
Potencia anaeróbica aláctica y láctica		Sobrecargas
 MÁXIMO NIVEL DE FUERZA		
<i>Zona metabólica específica</i>	<i>Factores de rendimiento</i>	
Eficiencia anaeróbica aláctica e intensidad muy alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones – Economía del esfuerzo	Sobrecargas Fraccionados a intensidad equivalente a la de competición
 FUERZA RESISTENCIA A CARGAS ALTAS		
Intensidad alta de eficiencia anaeróbica láctica	– Capacidad anaeróbica aláctica – Resíntesis de la PCr – Eficiencia anaeróbica aláctica – Eliminación de lactato – Tolerancia al lactato a distintas concentraciones – Economía del esfuerzo	Fraccionados a intensidad equivalente a la de competición Fraccionados y continuos que simulan la competición
 RESISTENCIA A LA FUERZA RESISTENCIA A CARGAS ALTAS		
<i>Nivel dificultado</i>		
Mayor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada		Fraccionados a intensidad equivalente a la de competición
Mayor duración del esfuerzo de las acciones de intensidad elevada		
Mayor frecuencia de acciones de intensidad elevada		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Menor tiempo de recuperación activa y pasiva en acciones de intensidad elevada		
Mayor intensidad en la recuperación activa en acciones de intensidad elevada		
<i>Nivel facilitado</i>		
Menor magnitud y/o frecuencia de aplicación de fuerza en acciones de intensidad elevada		Fraccionados a intensidad equivalente o inferior a la de competición
Menor duración del esfuerzo de las acciones de intensidad elevada		
Menor frecuencia de acciones de intensidad elevada		
Mayor tiempo de recuperación activa y pasiva en acciones de intensidad elevada		Fraccionados y continuos que simulan la competición
Menor intensidad en la recuperación activa en acciones de intensidad elevada		

Original de los autores.

Síntesis

- Debido a la variabilidad del contexto de competición entre las distintas modalidades deportivas caracterizadas por la sucesión de esfuerzos intermitentes, se requiere un análisis específico de cada modalidad para reorientar adecuadamente el proceso de entrenamiento.
- Mientras que el análisis fisiológico es determinante para comprender el metabolismo, los factores de rendimiento y la metodología del entrenamiento de los esfuerzos continuos ejecutados a intensidad

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

constante y variable, para los esfuerzos intermitentes este nivel de comprensión sólo es posible mediante un análisis exhaustivo de la motricidad.

- ▶ Aunque el metabolismo aeróbico, asociado básicamente a las fases de recuperación entre esfuerzos de intensidad elevada, es predominante en la mayoría de los esfuerzos intermitentes, la potencia, capacidad y eficiencia del metabolismo anaeróbico en las acciones ejecutadas a intensidad elevada, y la capacidad de resíntesis de la PCr y de eliminación de lactato en los períodos de recuperación activa y pasiva pueden considerarse los principales factores asociados al rendimiento en estas modalidades deportivas.
- ▶ El principal factor que determina un óptimo rendimiento real de la resistencia a la fuerza explosiva requerida en la mayoría de los esfuerzos intermitentes es el nivel de fuerza explosiva del deportista.
- ▶ La duración de las acciones motrices ejecutadas a intensidad elevada es muy breve en la mayoría de los esfuerzos intermitentes (mseg-4 seg), lo que constituye un factor determinante en la programación de la metodología de entrenamiento.
- ▶ El período de tiempo que transcurre entre la ejecución de acciones motrices que requieren una intensidad elevada difiere entre deportes y en diferentes fases de la competición de un determinado deporte, siendo el análisis de las fases de la competición de mayor exigencia el factor más determinante para programar el entrenamiento en los esfuerzos intermitentes.
- ▶ Aunque en la literatura podemos encontrar análisis de la motricidad de la mayoría de los esfuerzos intermitentes, en numerosas acciones motrices se desconoce la importancia de la resistencia y es casi inexistente un análisis específico de las fases de la competición de mayor exigencia.
- ▶ El entrenamiento motor e informacional es probablemente uno de los principales factores que determinan un mayor nivel de rendimiento de resistencia y de mantenimiento de la calidad motriz e informacional en la parte final de la competición de la mayoría de los esfuerzos intermitentes.
- ▶ La metodología de entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes debe basarse prioritariamente en la utilización de métodos continuos y fraccionados que simulen la competición, incidiendo en el desarrollo de la globalidad de factores de rendimiento mediante la

utilización de una gran variedad de estrategias que dificulten o faciliten, en función del objetivo, el nivel de entrenamiento.

- La metodología del entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes mediante métodos que no simulan la competición debe considerar la motricidad inherente a la modalidad deportiva, las fases de la competición de mayor exigencia y que el descenso de la manifestación de fuerza y de la calidad de ejecución motriz no sea de tal magnitud que difiera significativamente del que se evidencia en competición.

Cuestionario de asimilación

1. Indica qué limitaciones tiene el análisis de la frecuencia de intensidad relativa en los esfuerzos intermitentes.
2. Explica qué limitaciones tiene el análisis del tiempo promedio en las acciones de máxima intensidad de los esfuerzos intermitentes.
3. Justifica la importancia que tiene para el diseño del entrenamiento de resistencia el análisis de los esprines repetidos.
4. Establece la relación entre la motricidad de los deportes de equipo y su metabolismo.
5. Justifica los factores de rendimiento específicos asociados a la capacidad de resistencia de los deportes de equipo y de raqueta según el análisis de la motricidad.
6. Define la relación entre la motricidad de los deportes de combate y su metabolismo.
7. Indica algunas directrices metodológicas para el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento requeridos para la resistencia de un esfuerzo intermitente mediante métodos que simulan la competición.
8. Señala algunas directrices metodológicas para el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento requeridos para la resistencia de un esfuerzo intermitente mediante métodos que no simulan la competición.
9. Indica en qué situaciones utilizarás un método continuo de intensidad elevada y un método fraccionado de intensidad elevada y duración prolongada para el desarrollo de la resistencia en los esfuerzos

intermitentes.

- 10.** Establece la importancia relativa de un VO_2 máx. elevado para el rendimiento en los esfuerzos intermitentes.
- 11.** Indica las principales diferencias entre un método continuo y uno fraccionado que simule la competición.
- 12.** Explica las principales diferencias entre un método fraccionado ejecutado a intensidad equivalente o inferior a la de competición.
- 13.** Justifica la importancia que tiene conocer la disminución en la aplicación de fuerza durante una competición de un esfuerzo intermitente en que es posible realizar cambios en los competidores.
- 14.** Determina para un jugador de fútbol, un jugador de bádminton y un escalador las directrices metodológicas que permitan trabajar con tolerancia a concentraciones de lactato inferiores y superiores a la de competición.
- 15.** Indica la importancia de un adecuado desarrollo de los factores de rendimiento motores e informacionales para la capacidad de resistencia en un esfuerzo intermitente.
- 16.** Justifica la duración del esfuerzo de las acciones a intensidad máxima que consideres más adecuada para el desarrollo de la resistencia en los esfuerzos intermitentes.
- 17.** Establece la importancia de determinar la FC de competición para el diseño del entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes.
- 18.** Define la relación entre la concentración de lactato y las características de la motricidad de las distintas modalidades deportivas en las que se requiere la ejecución de esfuerzos intermitentes.
- 19.** Justifica la variación en la concentración de lactato determinada durante la competición de los esfuerzos intermitentes.
- 20.** Justifica la importancia de la capacidad aláctica, resíntesis de la PCr, eliminación de lactato y tolerancia al lactato para el rendimiento en los esfuerzos intermitentes.
- 21.** Define algunas directrices de modificación de los componentes del entrenamiento de resistencia de un esfuerzo intermitente si observas que probablemente la acumulación de lactato durante la ejecución es superior a la prevista.

- 22.** Indica si consideras que un deportista con un mejor índice de fatiga en los sucesivos esfuerzos intermitentes tiene también un mejor rendimiento.
- 23.** Explica cómo controlarás el número óptimo de repeticiones en un trabajo para optimizar la resistencia de un esfuerzo intermitente.

5

Entrenamiento en altitud moderada

Nicolás Terrados Cepeda

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender cómo afecta la altura el rendimiento en las distintas modalidades deportivas.
- Conocer las características físicas y fisiológicas del entrenamiento en altura.
- Comprender los mecanismos de adaptación del organismo al entrenamiento en altura.
- Conocer las distintas modalidades de vivir y entrenar en altura, y sus efectos diferenciales sobre la adaptación de los deportistas.
- Comprender la importancia de individualizar el entrenamiento en altura.
- Conocer el estado actual de la investigación sobre los factores que determinan que el efecto del entrenamiento en altura sea diferente entre sujetos.
- Conocer los posibles efectos desfavorables del entrenamiento en altura.

Índice

- 5.1. Modalidades del entrenamiento en altura
- 5.2. Ajustes de la carga de entrenamiento en altura
- 5.3. Competición en altitud
- 5.4. Mecanismos hematológicos y no hematológicos
- 5.5. Posibles efectos desfavorables del entrenamiento en altitud moderada
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

El interés sobre la posible utilización del **entrenamiento en altitud moderada** para la preparación del deportista se desarrolló en los años 1960, principalmente a raíz de la celebración de los JJOO en la Ciudad de México a 2.300 m sobre el nivel del mar en 1968 (Hornbein y Schoene, 2001). Ya en esos años se observó que los sistemas cardiovascular y muscular de los deportistas se adaptaban a la altitud, y que esas adaptaciones mejoraban el transporte y la utilización del O₂ y de los sustratos energéticos (Goddard, 1967). Como algunos de esos efectos eran similares a los producidos por el propio entrenamiento, la altitud se empezó a asociar al entrenamiento y rápidamente se consideró un **medio de optimizar las adaptaciones al entrenamiento y de mejora del rendimiento** no sólo en altura, sino también al nivel del mar (Daniels y Oldridge, 1970; Faulkner *et al.*, 1967). Posteriormente se popularizó el uso del entrenamiento en altura como método de entrenamiento, con buenos y malos resultados. Paralelamente, se empezó a observar los posibles efectos nocivos de una exposición prolongada en altura como la disminución de la inmunidad, la calidad del sueño y la función muscular (Desplanches *et al.*, 1996; Hoppeler *et al.*, 1990; Green *et al.*, 1989).

En general, se habla de **altitud moderada** entre 1.500 y 3.000 m, y por encima de estas altitudes se habla de altitud alta (hasta donde es compatible con la vida humana cotidiana, 4.500 m) o muy alta, por encima de 5.000 m. La principal característica física de la altitud en relación con sus posibles efectos sistémicos es la disminución de la presión atmosférica, que produce una **disminución de la presión parcial del O₂** (PO₂):

$$PO_2 \text{ (mmHg)} = FO_2 \text{ (\%)} \\ \times (\text{presión atmosférica [mmHg]} - 47)$$

La FO₂ (fracción de O₂ en el aire ambiente) permanece relativamente constante hasta unos 10.000 m (20,9%). Sin embargo, la presión atmosférica disminuye a medida que subimos en altitud, pasando de unos 760 mmHg a nivel del mar hasta unos 251-253 mmHg (West, 1999) en la cima del Everest (8.850 m). Por ello, la PO₂ que el ser humano puede encontrar varía entre 150

mmHg aproximadamente al nivel del mar y unos 43 mmHg en la cima del Everest (West, 1999) (tabla 4.51). La mayor o menor presión del O₂ hará que ese gas penetre mejor o peor en los tejidos del organismo.

TABLA 4.51. Presión atmosférica y presión parcial de oxígeno en el aire a diferentes alturas

<i>Altura (m)</i>	<i>Presión atmosférica (mmHg)</i>	<i>Presión parcial del O₂</i>
0 (nivel del mar)	760	159,2
1.000	674	141,2
2.000	596	124,9
3.000	526	110,2
4.000	462	96,9
9.000	231	48,4

Adaptado de Willmore JH y Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics, 2004.

En altura, esa disminución de la presión del O₂ hará que en la sangre el O₂ circule con menor presión (PaO₂) y penetre con menos presión en los tejidos periféricos, dando lugar a una **hipoxia relativa**. Esto hace que el organismo ponga en marcha mecanismos para compensar esa hipoxia relativa y aportar suficiente O₂ a los tejidos (Hochachka *et al.*, 1983). Además de esta disminución de la PO₂, también disminuirán la temperatura, la humedad relativa, la fuerza de la gravedad y la resistencia del aire, y aumentarán las radiaciones. Con la exposición aguda a altitud se produce una **respuesta del organismo** para tratar de compensar la menor presión parcial del O₂ en la sangre arterial (PaO₂), fundamentalmente basada en un aumento de la ventilación pulmonar, del gasto cardíaco (a costa de un aumento de la FC) y de la 2,3-DPG, y en otras alteraciones hormonales de menor grado. Estos cambios no logran compensar el efecto de la hipoxia en el VO₂ máx., que desciende casi proporcionalmente con la altitud, afectando negativamente el rendimiento aeróbico.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

No sólo se produce esta hipoxia relativa cuando el ser humano sube en altitud, sino que también hay **situaciones artificiales que simulan el efecto hipóxico** ya sea cambiando la FO_2 del aire inspirado ($Fi O_2$), normalmente aumentando la concentración de otro gas inerte, el nitrógeno, pero con la misma presión atmosférica (hipoxia normobárica) o disminuyendo artificialmente la presión atmosférica (hipoxia hipobárica), generalmente en espacios cerrados en los que se pueda disminuir la presión, en cámaras e incluso en casas hipobáricas (Rusko, 1996). En la figura 4.112 se puede ver una cámara hipobárica en la que se hacían estudios científicos en altura simulada en los años 1980. Investigadores, científicos y empresas comerciales han desarrollado nuevas tecnologías para simular la altitud por tres vías diferentes: disminuyendo la presión del aire, haciendo una dilución con nitrógeno o filtrando el O_2 . De esta manera se han creado varias **soluciones tecnológicas**: cámaras hipobáricas, casas normobáricas, tiendas de nitrógeno, aparatos de exposición intermitente por filtrado de O_2 y aparatos de exposición intermitente por dilución con nitrógeno. Como consecuencia de todo ello se han desarrollado **modelos diferentes de utilización de la altitud**, algunos de ellos con el fin de disminuir el tiempo de exposición a la altura y así minimizar sus posibles efectos nocivos (Roach y Kayser, 2001; Fulco *et al.*, 2000). La primera parte de este apartado focaliza la atención sobre las diferentes modalidades de entrenar y vivir en altura real o simulada, y sobre sus efectos diferenciales de adaptación.

El **rendimiento deportivo** en actividades con gran componente oxidativo se ve claramente afectado por la hipoxia relativa que hay en altura, como ya se apreció en los JJOO de México en 1968. Hasta hace relativamente poco tiempo era universalmente aceptado que el VO_2 máx. disminuía en altitudes a partir de los 1.200-1.500 m, siendo esta disminución mayor cuanto más elevada fuera la altitud. La mayor o menor disminución también dependía de factores individuales. A este respecto, algunos autores pensaban que las personas sedentarias (con baja capacidad aeróbica) se verían más afectadas en su VO_2 máx. que las entrenadas (con capacidad aeróbica alta), mientras que otros opinaban que, por el contrario, los deportistas de alto nivel aeróbico serían los más afectados. Estudios de nuestro grupo de trabajo, resumidos en la figura 4.113 (Terrados *et al.*, 1985), en los que se valoró el VO_2 máx. de personas sedentarias y de deportistas de elite con elevada capacidad aeróbica en una exposición aguda a diferentes altitudes (900, 1.200 y 1.500 m), así

como su presión parcial de O_2 en sangre arterial (PaO_2), gradiente alveoloarterial de O_2 ($PA-aO_2$), presión parcial de CO_2 en sangre arterial ($PaCO_2$) y pH arterial, no sólo confirman que la altitud afecta más a los deportistas de alto nivel aeróbico que a las personas sedentarias, sino que también demuestran que en los deportistas de elite hay una disminución significativa del VO_2 máx. ya a los 900 m de altitud, sin que las personas sedentarias se vean afectadas a esa altitud. Factores relacionados con la capacidad de difusión pulmonar en relación con la superficie corporal o en relación con el valor absoluto del VO_2 máx. se consideran que son la causa de esta respuesta diferencial. Estos datos fueron confirmados por estudios posteriores en Australia (Gore *et al.*, 1997). En altura, la disminución del potencial del deportista y el efecto diferencial de la respuesta entre sujetos al entrenamiento determinan la necesidad de un control exhaustivo e individualizado de los estímulos de entrenamiento. El rendimiento en modalidades con gran componente anaeróbico puede mejorarse en altura debido a la menor fuerza de gravedad y a la menor resistencia del aire. Por ello, en este apartado mostramos los ajustes de la carga de entrenamiento en altura y los efectos de competir en altitud sobre el rendimiento.

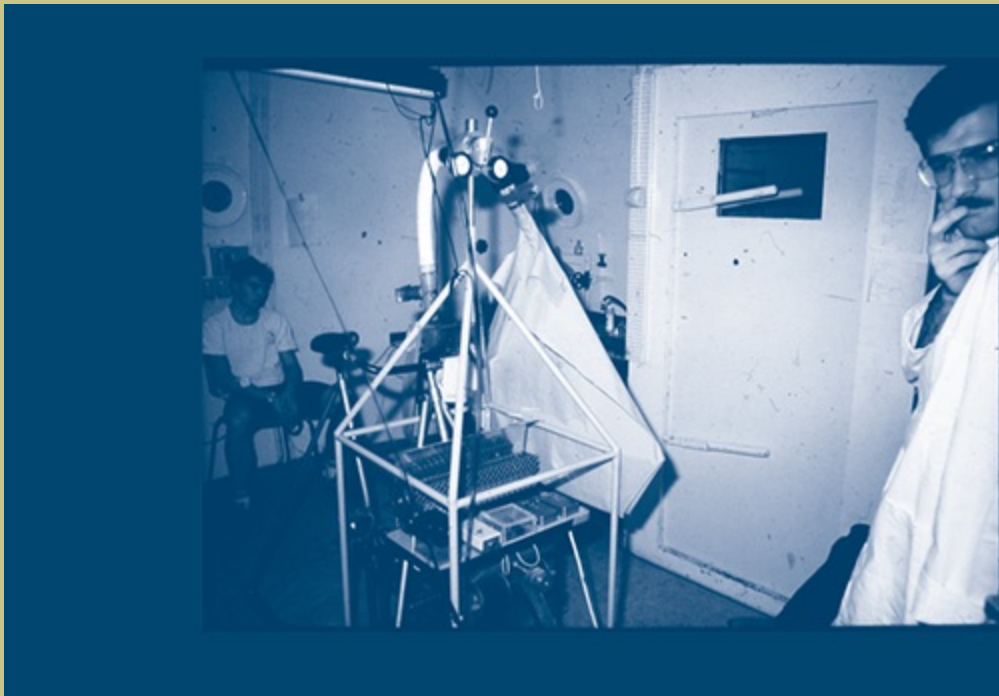


FIGURA 4.112. Cámara hipobárica en el Instituto August Krogh de la Universidad de Copenhague, en 1984.

Original del autor.

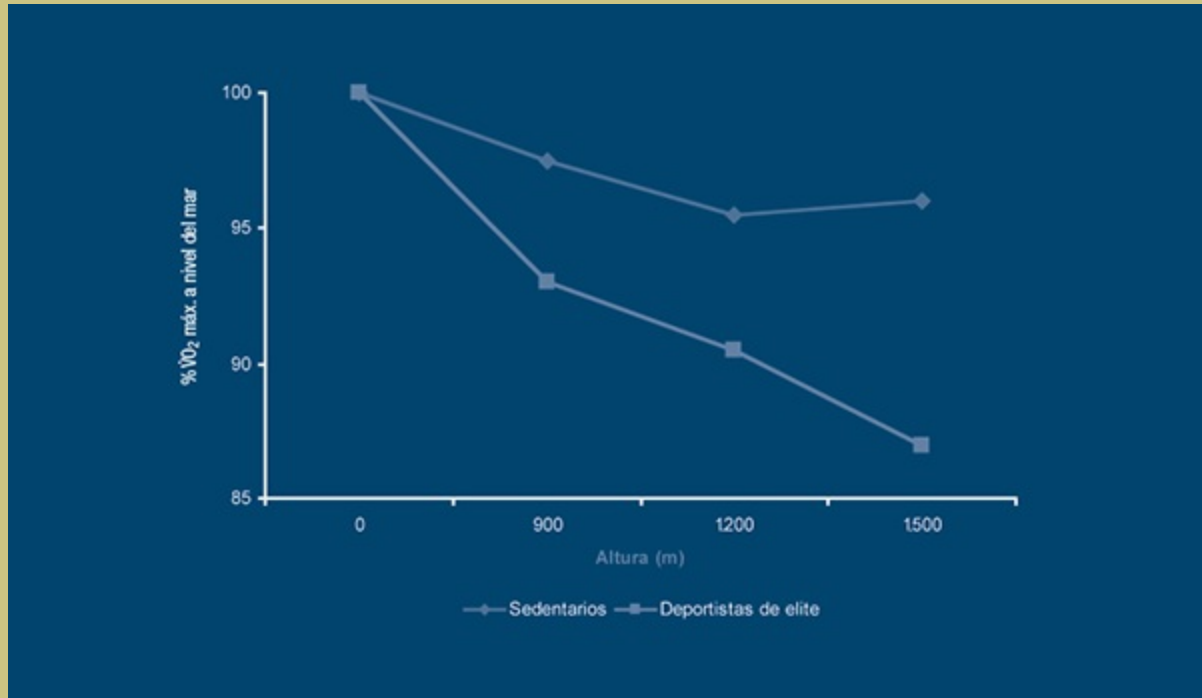


FIGURA 4.113. Disminución porcentual del VO_2 max. a diferentes altitudes. El VO_2 máx. disminuye al aumentar la altura, especialmente en los deportistas de elite.

Adaptado de Terrados N et al. Clinical Physiol 1985;5 Suppl.3:75-9.

En la exposición crónica a la altura, el cuerpo humano inicia una serie de **adaptaciones fisiológicas**. Hace años se observó que el estímulo de la hipoxia asociado al estímulo del entrenamiento parece que produce una serie de mejoras en la enzimas musculares, la mioglobina, los capilares musculares y la hemoglobina (Saltin *et al.*, 1995; Jansson *et al.*, 1992; Terrados *et al.*, 1992a, 1990, 1988). Así, se estableció que la alteración metabólica relacionada con la hipoxia estaba relacionada con adaptaciones en el músculo humano, sin conocerse el mediador de ese proceso. En este apartado se realiza un análisis de los mecanismos de adaptación hematológicos y no hematológicos al entrenamiento en altura.

Finalizamos este apartado con los posibles **efectos desfavorables** del entrenamiento en altitud moderada. En los primeros días de estancia en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

altitud moderada puede aparecer de una manera individualizada unos síntomas leves, que varían entre dolores de cabeza, distrés respiratorio, náuseas, mareos, insomnio y falta de apetito. Estos síntomas pueden aparecer de una manera aislada o varios a la vez y no aparecen en todos los casos. Normalmente desaparecen pasados 4 a 6 días, aunque el insomnio puede durar algo más. Conviene recordar que en la altitud moderada a la que nos estamos refiriendo la patología que puede aparecer es en la mayoría de los casos muy leve y no debe confundirse con la patología, en algunos casos muy grave, que se produce en la altitud elevada.

5.1. Modalidades del entrenamiento en altura

Los **primeros estudios** en los que se hablaba de la posibilidad de que la exposición a una altitud moderada o elevada podría ser un estímulo metabólico eficaz para inducir adaptaciones musculares y funcionales en el ser humano fueron los trabajos de Reynafarje y colaboradores en 1962 (Reynafarje *et al.*, 1962). En sus trabajos estudiaron a los habitantes de los altiplanos andinos, que residían permanentemente a alturas por encima de 3.500 m, encontrando en sus músculos más concentraciones de mioglobina y de enzimas oxidativas que las observadas en personas que vivían a nivel del mar. Aunque fueron estudios de gran interés, se ha especulado sobre la posibilidad de que parte de los resultados se debieran a la actividad física de esas personas residentes en altura (Hoppeler y Vogt, 2001).

A partir de esos estudios se iniciaron las primeras **estancias en altura para entrenar**. En esas concentraciones deportivas, los deportistas residían y entrenaban en una altitud moderada durante períodos más o menos largos.

Los estudios que valoraron el efecto de esas estancias en altura en el rendimiento deportivo mostraban una gran **disparidad de resultados** principalmente debido a la variedad de protocolos utilizados, duración, alturas y sobre todo a la dificultad de tener un buen grupo de control que realice el mismo entrenamiento a nivel del mar (Bailey *et al.*, 1998, Svedenhag *et al.*, 1991, Mizuno *et al.*, 1990; Adams *et al.*, 1975; Daniels y Oldridge, 1970; Faulkner *et al.*, 1967).

Actualmente, el desarrollo de los **métodos de simulación artificial** de la altura facilita la realización de estudios y de aplicación práctica tanto de la exposición pasiva a la altura moderada como la asociada al entrenamiento.

Se han utilizado diferentes **modalidades de entrenamiento en altura**. La

primera fue **entrenar y vivir en altura moderada**, llamada por algunos *living high, training high* (LHTH). Después se utilizó el **vivir a nivel del mar y entrenar en altura real o simulada**, *living low, training high* (LLTH). Por último, se utiliza **vivir en altura real o simulada y entrenar a nivel del mar** *living high, training low* (LHTL). Hay que destacar que en la modalidad LHTL en realidad no se trata de entrenamiento en altura, sino que, como su nombre indica, se entrena a nivel del mar pero se vive (o se duerme, según los casos) en altura real o simulada buscando los beneficios hematológicos (aumento de la hemoglobina, etc.) de la hipoxia (véanse los estudios de Levine y Stray-Gundersen).

Iniciamos el repaso de las diferentes modalidades por la última, LHTL, de manera breve por no ser un auténtico entrenamiento en altura, sino una exposición pasiva a la altura.

Entrenar abajo y vivir arriba. Exposición pasiva a la altura

En los años 1990, Benjamin Levine y Jim Stray-Gundersen iniciaron una serie de estudios sobre el efecto de la exposición pasiva a la altura. Denominaron esta modalidad **vivir arriba y entrenar abajo** (*living high, training low*, LHTL) (Levine y Stray-Gundersen, 1992). Este uso de la altura consiste en estar expuesto a la altura real o simulada durante 1216 h al día, pero realizar los entrenamientos a una altura inferior, incluso al nivel del mar. En sus primeros trabajos utilizaron para vivir una altura de 2.500 m realizando los entrenamientos a 1.250 m. Con este método encontraron mejoras del rendimiento aeróbico de atletas de mediofondo (3.000 y 5.000 m) del orden del 1,3% (Stray-Gundersen *et al.*, 2001; Levine y Stray-Gundersen, 1997). Relacionaron esta mejora con un aumento de la capacidad de transporte de O₂ del 3-4% por el aumento de la concentración de hemoglobina y hematíes (~ 10%). Por ello, estos autores opinaron que las mejoras del rendimiento se debían a la **activación de la eritropoyesis** por el aumento de la producción de eritropoyetina secretada por el riñón bajo el estímulo de la hipoxia (Richalet y Henry, 2003).

Hay que recordar que la exposición aguda a la hipoxia originada por la menor presión parcial del O₂ en altura aumenta la concentración sanguínea de eritropoyetina endógena de manera muy individualizada, siendo en algunas

personas más del doble de los valores basales. Este aumento produciría mayor número de reticulocitos y posteriormente hematíes y hemoglobina. En la figura 4.114 se observan los grandes cambios de la concentración de reticulocitos en deportistas expuestos 24 h a una altura natural de 2.500 m (Teide, Canarias) (González *et al.*, 2006).

A partir de esos estudios, algunos deportistas realizan exposiciones a la altura simulada (2.500-3.000 m) durante algunas horas, por ejemplo, dormir en una habitación con menor presión parcial de O₂. El uso de esta hipoxia intermitente se verá con más detalle en la parte final.

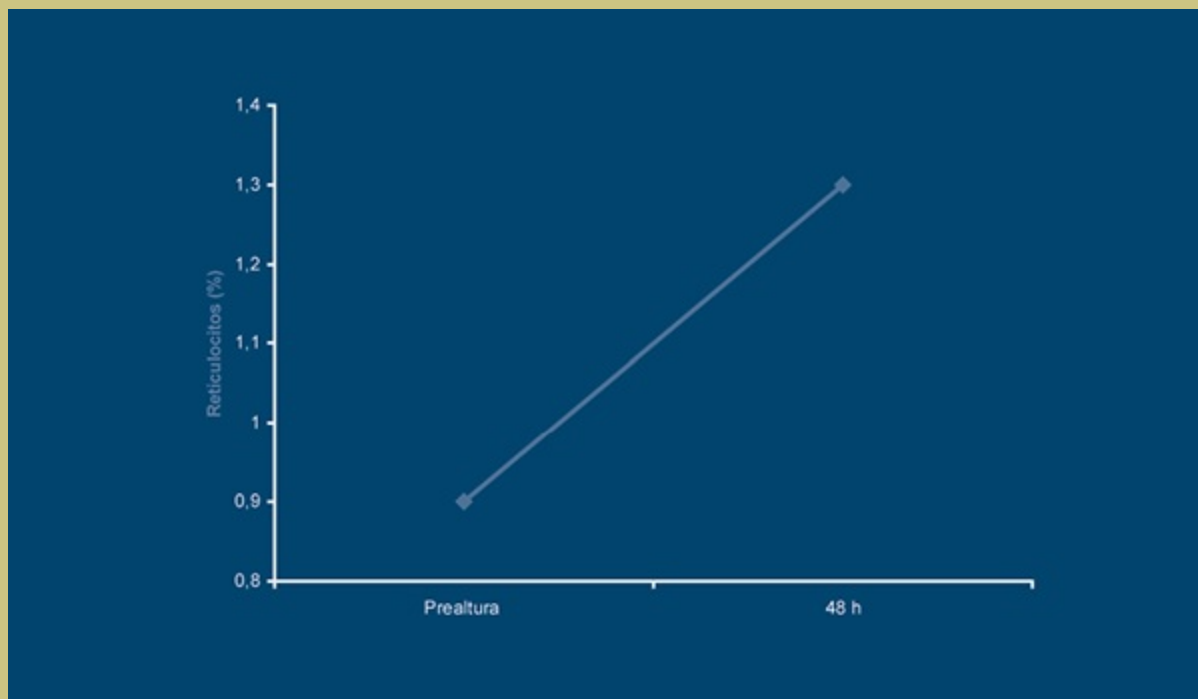


FIGURA 4.114. Cambios significativos del porcentaje de reticulocitos en deportistas expuestos a la altura (Cañadas del Teide, Canarias) durante 48 h. La exposición en altura incrementa sustancialmente el porcentaje de reticulocitos.

Adaptado de González AJ et al. Med Sci Sports Exerc 2006;38:688-93.

Incluso se han visto mejoras de la **eficiencia metabólica** (economía de carrera o de pedalada) en algunos estudios después de exposiciones intermitentes a la altura (Saunders *et al.*, 2004; Gore *et al.*, 2001). No hay una clara explicación de los mecanismos de estos efectos, aparte del efecto hematológico. Algunos autores postulan que podría haber un aumento del

número de moléculas de ATP generadas por la oxidación de una molécula de O₂ y/o que habría una disminución de moléculas de ATP necesarias para desarrollar una determinada potencia muscular (Saunders *et al.*, 2004; Katayama *et al.*, 2004, 2003; Green *et al.*, 2000).

Entrenar arriba. Exposición activa a la altura

La idea de unir específicamente el efecto del entrenamiento y el efecto de la exposición a la altura, **entrenar en altura y vivir abajo** (*living low, training high*, LLTH) y/o **entrenar y vivir en altura** (*living high, training high*, LHTH) con el objetivo de mejorar los estímulos metabólicos generados por el entrenamiento se remonta a la década de 1980 (véase Terrados *et al.*, 1988). Actualmente está demostrado que el ejercicio en normoxia se acompaña de una relativa hipoxia tisular y que la presión de O₂ intracelular en los tejidos periféricos (PO₂) disminuye rápidamente durante el ejercicio (Hoppeler *et al.*, 2003; Richardson *et al.*, 1995). De manera similar ocurre en la exposición aguda a la altura, donde ya en reposo disminuye la PO₂ (Richardson *et al.*, 1995).

En consecuencia, la combinación de los dos estímulos (ejercicio y altitud) aumenta la desaturación de la mioglobina durante el ejercicio y puede que aumenten los estímulos metabólicos que lo acompañan (Richardson *et al.*, 1999, 1995), ya que los cambios de las concentraciones celulares de AMP, ADP, Pi, NADH y lactato son mayores que en el mismo ejercicio realizado a nivel del mar (Haseler *et al.*, 1998; Richardson *et al.*, 1998, Jansson *et al.*, 1992; Katz y Sahlin, 1987).

También el pH muscular y las concentraciones de PCr bajan más en esas condiciones (Hogan *et al.*, 1999). Es decir, las **alteraciones de la homeostasis** celular son mayores cuando se realiza un mismo ejercicio en altura que cuando se realiza a nivel del mar. Por todo ello, como veremos más adelante, es fundamental ajustar de manera individualizada las cargas de entrenamiento.

Entrenar arriba y vivir abajo

Los efectos sobre el rendimiento de **entrenar arriba y vivir abajo** han sido poco estudiados. Se conoce que este modelo de entrenamiento **mejora el**

rendimiento en altura tanto en sujetos poco entrenados (Geiser *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001; Desplanches *et al.*, 1993) como en ciclistas profesionales (Terrados *et al.*, 1988). En triatletas de alto nivel, este modelo de entrenamiento también mejora el rendimiento en altitud (Vallier *et al.*, 1996).

Sin embargo, **no son tan claras las mejoras del rendimiento a nivel del mar** después de entrenar con el modelo LLTH en comparación con las mejoras de realizar el mismo entrenamiento a nivel del mar (Geiser *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001; Desplanches *et al.*, 1993; Terrados *et al.*, 1988), lo que ha dado lugar a una gran controversia. En deportistas de elite, algunos estudios muestran un efecto beneficioso de este modelo de entrenamiento sobre el rendimiento en comparación con un grupo de control que realizó el mismo entrenamiento a nivel del mar (Hendriksen y Meeuwsen, 2003; Meeuwsen *et al.*, 2001; Mizuno *et al.*, 1990; Terrados *et al.*, 1988), pero otros trabajos no muestran ningún beneficio extra (Truijens *et al.*, 2003). En personas sedentarias se observa también esta discrepancia, mostrando algunos estudios una mejora del rendimiento (Bailey *et al.*, 2001; Terrados *et al.*, 1990; Roskamm *et al.*, 1969), no encontrando otros estudios efecto beneficioso alguno (Messonnier *et al.*, 2004; Geiser *et al.*, 2001; Masuda *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001; Emonson *et al.*, 1997; Melissa *et al.*, 1997; Desplanches *et al.*, 1993; Benoit *et al.*, 1992; Levine *et al.*, 1992).

Las **controversias** se deben a la dificultad de realizar estudios en altitud con seres humanos en los que sea posible tener un buen grupo de control que realice la misma actividad. Si se asocia además la variable del ejercicio físico o del entrenamiento, el grupo de control deberá realizar exactamente el mismo ejercicio o entrenamiento que el grupo estudiado, con la dificultad que ello conlleva. Además, los estudios sobre metabolismo muscular precisan por ahora realizar biopsias musculares para un exacto conocimiento de las variaciones del músculo. Otro problema asociado es la gran variación de los resultados científicos cuando los estudios se realizaron a diferentes altitudes, ya que, al cambiar la altitud, no sólo variará el estímulo de la hipoxia, sino también la cantidad de ejercicio físico realizado, así como la influencia de los otros factores físicos (frío, gravedad, alimentación, etc.). Así pues, en la interpretación de los datos obtenidos en diferentes estudios se puede llegar a conclusiones erróneas si los estudios se han realizado a diferentes altitudes y con diferentes patrones de actividad física.

En casi todos estos trabajos parece que las posibles causas de la mejora del rendimiento del modelo de entrenamiento LLTH están asociadas a **mejoras**

de factores musculares y no estar relacionadas con una mejora en la capacidad de transporte de O_2 , ya que, al contrario que el modelo de entrenamiento LHTL, los modelos de entrenamiento LLTH no producen mejoras de la capacidad de transporte de O_2 . Los estudios al respecto son unánimes en la observación de que no hay aumentos del hematocrito y la hemoglobina del deportista (Hendriksen y Meeuwsen, 2003; Truijens *et al.*, 2003; Geiser *et al.*, 2001; Meeuwsen *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001; Terrados *et al.*, 1988), lo que parece indicar que son otras adaptaciones, diferentes de las relacionadas con el transporte de O_2 , posiblemente musculares, las responsables de las mejoras del rendimiento después de un período de entrenamiento con el modelo LLTH.

Adaptaciones musculares del entrenamiento en altura (LLTH)

A nivel del **metabolismo muscular**, después de períodos de entrenamiento en altura con el modelo LLTH se ha observado un aumento de la velocidad de reoxigenación muscular en la recuperación postejercicio (Kime *et al.*, 2003), una mayor resíntesis de la PCr y una mejor relación PCr/(PCr+Pi) después del ejercicio (Kuno *et al.*, 1994), un aumento de la capacidad tampón muscular (Mizuno *et al.*, 1990), una mejora de las enzimas oxidativas (Melissa *et al.*, 1997; Terrados *et al.*, 1990) y una disminución de las enzimas glucolíticas como la fosfofructocinasa o la lactato deshidrogenasa (Vogt *et al.*, 2001; Terrados *et al.*, 1988).

La capacidad tampón muscular es un factor importante relacionado con el rendimiento físico. Esta capacidad parece que mejora con algunos tipos de entrenamiento y con el entrenamiento en altitud. Sólo un estudio (Mizuno *et al.*, 1990) ha medido bien esa capacidad en relación con la altitud, comprobando que después de un período de entrenamiento a altitud moderada (2.500-3.000 m) en un grupo de esquiadores de fondo de alto nivel aumentó la capacidad tampón muscular, correlacionándose dicha mejora con un mejor rendimiento en competición.

A **nivel estructural** se ha observado un aumento de la capilarización muscular (Mizuno *et al.*, 1990), con aumentos muy claros en algunos casos de la densidad capilar (Desplanches *et al.*, 1993) o de la longitud de los capilares musculares (Geiser *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001). Estas

adaptaciones de los capilares musculares se consideran de mucho interés, pues aumentan la superficie de intercambio capilar/mitocondria, con lo que se optimiza la difusión del O₂ y de otros sustratos de la sangre al músculo.

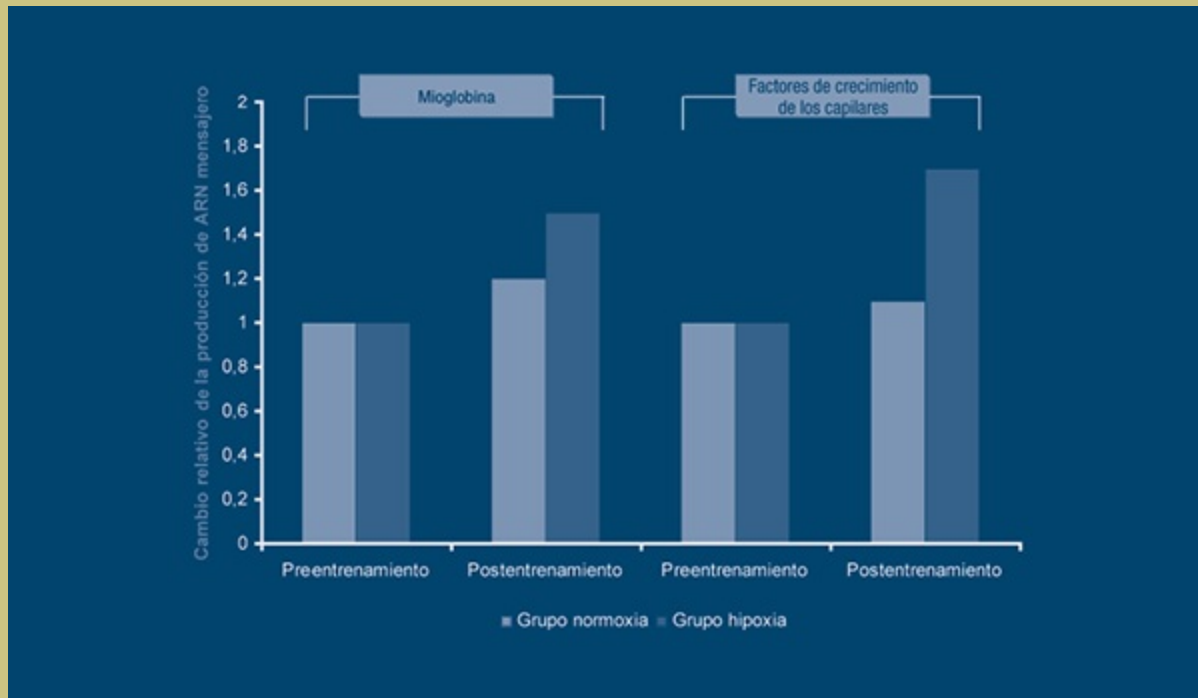


FIGURA 4.115. Cambios de la producción de ARN mensajero para la mioglobina y para los factores de crecimiento de los capilares después de entrenamientos en hipoxia. Cambios de la expresión genética determinan que durante el entrenamiento en altura se produzcan adaptaciones que determinan un incremento de mioglobina y de capilares.

Adaptado de Vogt M et al. J Appl Physiol 2001;91:173-82.

También se ha observado aumentos de la densidad mitocondrial después de entrenamientos en altura, sobre todo de la mitocondrial subsarcolemma (Geiser *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001). Esta adaptación permitiría disminuir las distancias de difusión intracelular del O₂, optimizando su utilización.

No se conocen todos los **mecanismos moleculares que dan origen a las adaptaciones estructurales y funcionales** generadas por el entrenamiento en altura (Däpp *et al.*, 2005), pero cada vez está más claro el papel determinante que tiene el estímulo de la hipoxia en determinados factores de transcripción, en concreto sobre los factores inducidos por la hipoxia, principalmente el 1

(HIF-1), que se expresa en las células de los mamíferos, sobre todo en las musculares y vasculares (Wiener *et al.*, 1996).

El **HIF** es un factor de transcripción que se expresa en varios puntos y que regula varios genes relacionados con los mecanismos compensatorios de la hipoxia, de las alteraciones metabólicas y del estrés oxidativo. Entre los **genes que regula el HIF** están el de la eritropoyetina, el del factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), el de la mioglobina y el de algunas enzimas glucolíticas (Aragonés *et al.*, 2008). Este factor de transcripción es también responsable del aumento de los transportadores de lactato en la membrana (MCT4), cuya producción aumenta con la hipoxia, a través del aumento del HIF-1 α . Este aumento permite al músculo eliminar más rápidamente el ácido láctico producido en exceso en condiciones de hipoxia (Ullah *et al.*, 2006).

Ha sido muy importante el descubrimiento de que la activación de los HIF está regulada por una familia de dioxigenasas llamadas “HIF proli-4-hidroxilasas” (PHD), que aumentan la actividad de transcripción del HIF, activando así la maquinaria que, entre otros aspectos, dará una neuroprotección ante la hipoxia. En condiciones de normoxia, las PHD degradan rápidamente los HIF, pero pierden actividad cuando las células están en situación de hipoxia (pero también cuando les falta hierro o 2-oxoglutarato). Esta inhibición de la actividad de las PHD estimula la respuesta homeostática ante la falta de O₂ o glucosa y estabiliza los HIF y otras proteínas celulares (Jaakkola *et al.*, 2001).

En un estudio publicado en 2001, en el que varios sujetos entrenaron durante 6 semanas a razón de 3 entrenamientos de 30 min a la semana a 3.800 m, se observó un aumento de los ARN mensajeros de HIF1, que se asoció a un aumento de los ARNm de enzimas oxidativas, mioglobina, VEGF, sin que se observasen estos cambios cuando el mismo entrenamiento se realizaba en normoxia (Vogt *et al.*, 2001).

Estos resultados se confirmaron en los estudios del grupo de Billat y Dufour (2005). En la figura 4.115 se aprecia la diferencia clara en la producción de ARN mensajero para la mioglobina y para los factores de crecimiento de los capilares después de entrenamientos intensos en hipoxia. Este efecto sobre los HIF nos ayudaría a explicar muchos de los cambios (p. ej., en mioglobina o mitocondrias) que se observaron en altura y que no se pudieron explicar.

Esos cambios del HIF-1 indican que el entrenamiento en condiciones de

hipoxia, independientemente de la intensidad del ejercicio, tiene un efecto específico a nivel molecular en el músculo esquelético humano, diferente del efecto del entrenamiento en condiciones de normoxia. Estas adaptaciones favorecen el transporte de O₂ y su utilización debido a los aumentos de la mioglobina en los capilares y en las mitocondrias (Geiser *et al.*, 2001).

Efecto en la expresión de genes

Como se ha mencionado en el apartado anterior, los HIF son factores de transcripción que se expresan en varios puntos y que regulan varios genes relacionados con los mecanismos compensatorios de la hipoxia, de las alteraciones metabólicas y del estrés oxidativo. Entre los **genes que regulan los HIF** están el de la eritropoyetina, el del factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), el de la mioglobina y el de algunas enzimas glucolíticas (Aragonés *et al.*, 2008). Estos factores de transcripción son también responsables del aumento de los transportadores de lactato en la membrana (MCT4), cuya producción aumenta con la hipoxia a través del aumento de HIF-1 α . Este aumento permite al músculo eliminar más rápidamente el ácido láctico producido en exceso en condiciones de hipoxia (Ullah *et al.*, 2006).

En los estudios del grupo de Dufour (2005) se observó claramente el **efecto del entrenamiento en hipoxia en la expresión de diferentes genes** relacionados con el rendimiento. En la figura 4.116 se observan cambios significativos después de entrenar en hipoxia simulada en la expresión de los genes relacionados con el crecimiento del endotelio vascular (VEGF), la mioglobina, enzimas oxidativas, formación de mitocondrias, transportadores de glucosa-4, regulación del pH, etc.

Enfermedades asociadas con la limitación en el aporte de O₂ y/o con sus consecuencias metabólicas, como son el infarto cerebral o la enfermedad de Alzheimer, podrían estar relacionadas con la correcta activación o no de los HIF.

También es de **relevancia para la salud** el hecho de que los HIF pueden tener un papel como oncogenes. Como consecuencia de la estabilización de los HIF, la célula responde aumentando la expresión de genes relacionados con la proliferación celular, la angiogénesis, las metástasis y el metabolismo energético. Por ello, estudios recientes lo relacionan con los tumores angiogénicos, con el carcinoma de células escamosas, con el cáncer de ovario

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de células claras y con el funcionamiento y la patología del riñón.

Es muy importante tener en cuenta que el conocimiento de la regulación de los factores de crecimiento relacionados con la hipoxia (tanto los HIF como las PHD) puede abrir nuevas líneas terapéuticas para el tratamiento del cáncer y las enfermedades neurodegenerativas (Calzada y Del Peso, 2007).

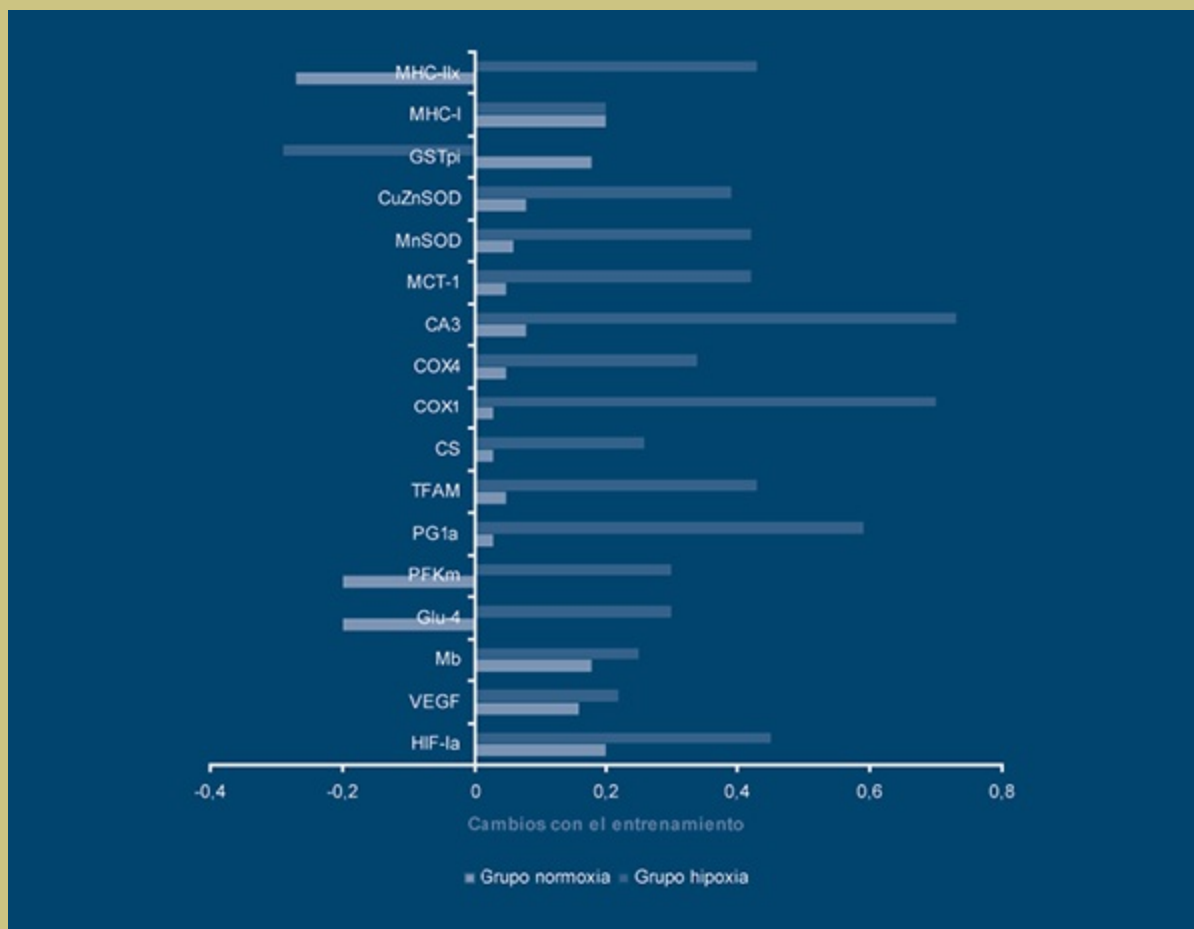


FIGURA 4.116. Cambios de la expresión de diferentes genes con el entrenamiento en normoxia y en hipoxia simulada. MCH-IIx y MHC-I, asociados con el fenotipo contráctil. GSTpi, CuZnSOD y MnSOD, asociados con el estrés oxidativo. MCT-1 y CA3, asociados con la regulación del pH. COX4, COX1 y CS, asociados con el metabolismo mitocondrial. TFAM y PG1a, asociados con la biogénesis mitocondrial. Glut-4 y PFKm, asociados con el metabolismo de los hidratos de carbono. Mb, VEGF y HIF-1a, asociados con el transporte y el metabolismo oxidativo. El entrenamiento en hipoxia produce, en relación con el entrenamiento en normoxia, cambios muy superiores de la expresión de genes asociados con el rendimiento.

Adaptado de Dufour S. Tesis Doctoral. Universite de Strasbourg I-Louis Pasteur, 2005.

Variabilidad

Hay una marcada **variabilidad individual en la respuesta a la altitud**, tanto natural como simulada. Esta variabilidad la explican sólo parcialmente factores relacionados con la cantidad de O₂ aportado a los tejidos, es decir, por la mayor o menor altitud. Por ejemplo, mientras algunos investigadores muestran aumentos considerables del número de eritrocitos y hemoglobina después de una estancia en altitud moderada, otros no encuentran cambios después de una exposición a una altura similar (Ge *et al.*, 2002; Stray-Gundersen *et al.*, 2001). En la figura 4.117 se puede apreciar la gran variabilidad de la respuesta a la hipoxia en la **producción de eritropoyetina (EPO)** a diferentes alturas después de 24 h de exposición (Ge *et al.*, 2002). De este estudio se sacan las siguientes conclusiones: (i) ya a las 24 h de exposición a la altura algunas personas tienen una producción de EPO duplicada o triplicada; (ii) esta respuesta varía mucho entre personas pues unas triplican sus niveles de EPO y otras casi no los aumentan; (iii) pequeñas diferencias en altura pueden producir respuestas diferentes en diferentes personas, y (iv) es a partir de 2.500 m cuando se aprecian más aumentos de la producción de EPO.

Estudios posteriores, incluido uno de nuestro grupo de trabajo (González *et al.*, 2006), indican que es posible que **polimorfismos genéticos** expliquen, al menos en parte, estas respuestas tan diferentes. Es decir, que no sólo los HIF influyen en la respuesta genética, sino también que el tener unos determinados polimorfismos genéticos harán que la respuesta sea mayor o menor, o incluso de diferente signo. En la actualidad se habla de **personas “respondedoras”** a la altura o **personas “no respondedoras”**, es decir, personas que responden bien al estímulo de la altura o personas que no responden o responden mal a ese estímulo. En la figura 4.118 se observan diferentes respuestas a una estancia en altura real (Cañadas del Teide, Canarias) dependiendo de ser respondedor o no respondedor.

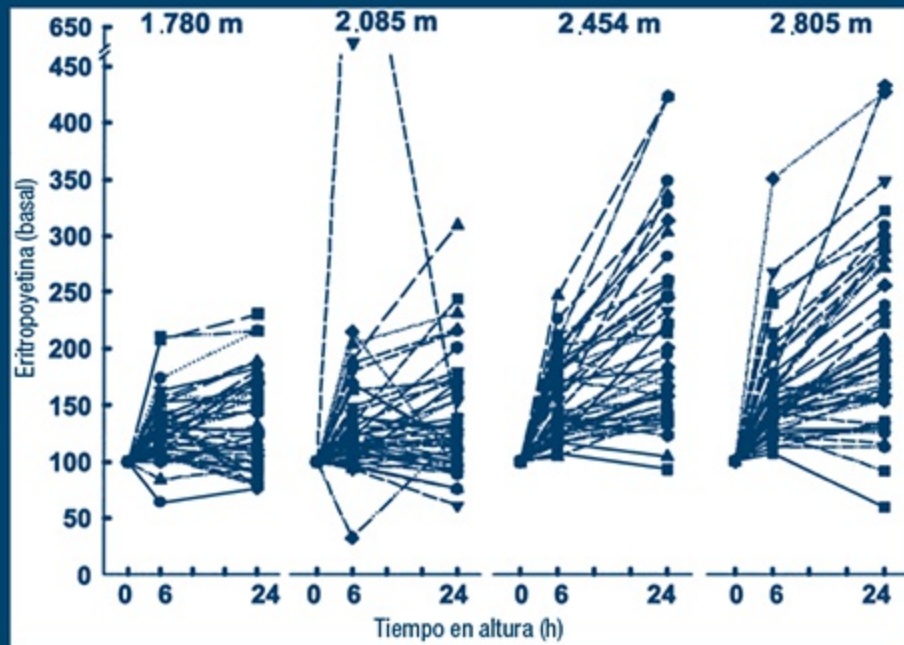


FIGURA 4.117. Cambios de la producción de eritropoyetina después de 24 h a diferentes alturas. Los cambios de la producción de EPO con el entrenamiento a diferentes alturas tienen una gran variabilidad individual.

Reproducido, con permiso, de Ge RL et al. J Appl Physiol 2002;92:2361-7.

Altura intermitente

Este concepto es simplemente una adaptación práctica del LLTH, es decir, del vivir abajo y entrenar arriba, pero en vez de subir a una altura real para entrenar el deportista suele utilizar estrategias artificiales, como son los **simuladores de altura**.

Se considera una **estrategia para evitar la sobrecarga y el sobreentrenamiento** del entrenamiento en altura, ya que reduce los tiempos de exposición y entrenamiento en altura (Truijens *et al.*, 2003; Ventura *et al.*, 2003), con lo que disminuyen las posibilidades de un descenso de la inmunidad, de sobrecargas, etc., hablándose en este caso de altura intermitente. En este entrenamiento, las exposiciones a la altura se reducen a períodos muy cortos (< 2 h).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Los efectos de este tipo de entrenamiento han sido ya estudiados por varios grupos (Truijens *et al.*, 2003; Ventura *et al.*, 2003; Terrados, 1992b; Terrados *et al.*, 1988).

En una tesis doctoral realizada por S. Dufour (2005) se observaron claros **efectos beneficiosos** en el rendimiento de deportistas que entrenaron 3 días a la semana con este concepto. En la figura 4.119 se observa la clara mejora del rendimiento (Tlím a VAM) de los deportistas que entrenaron durante 6 semanas con esta modalidad de altura intermitente en comparación con los que entrenaron a nivel del mar todo el tiempo.

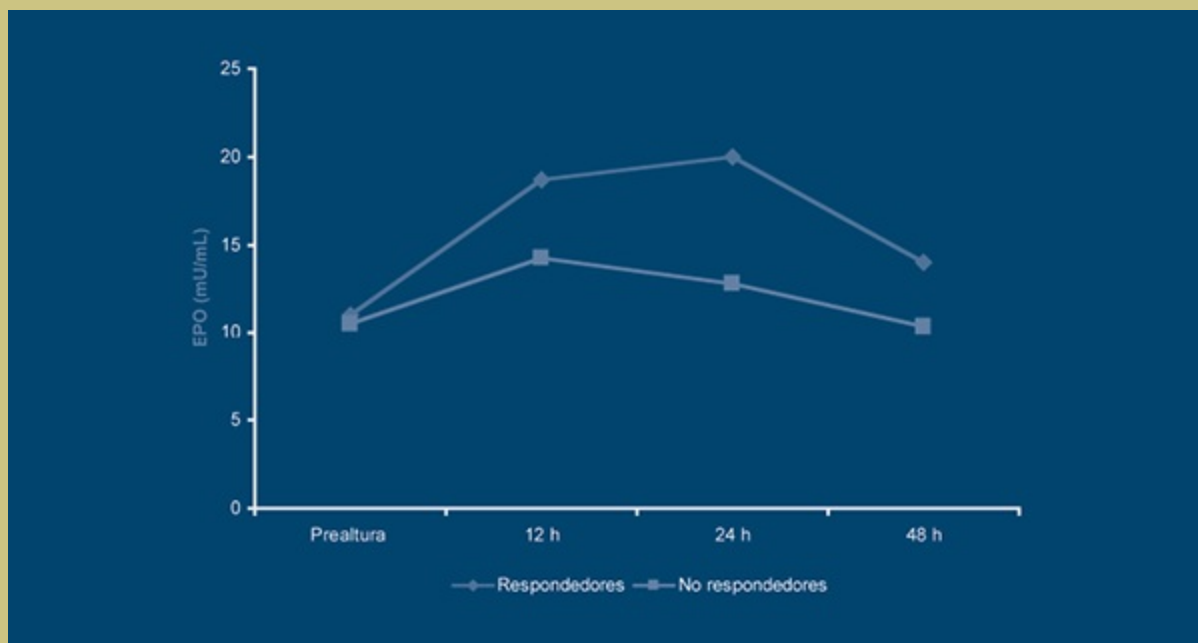


FIGURA 4.118. Diferencias de la producción de eritropoyetina entre “respondedores” y “no respondedores” tras una estancia de 12, 24 y 48 h en altura real de 2.500 m. La marcada variación individual asociada a la producción de EPO permite diferenciar a deportistas respondedores y no respondedores al entrenamiento en altura.

Adaptado de González AJ et al. Med Sci Sports Exerc 2006;38:688-93.

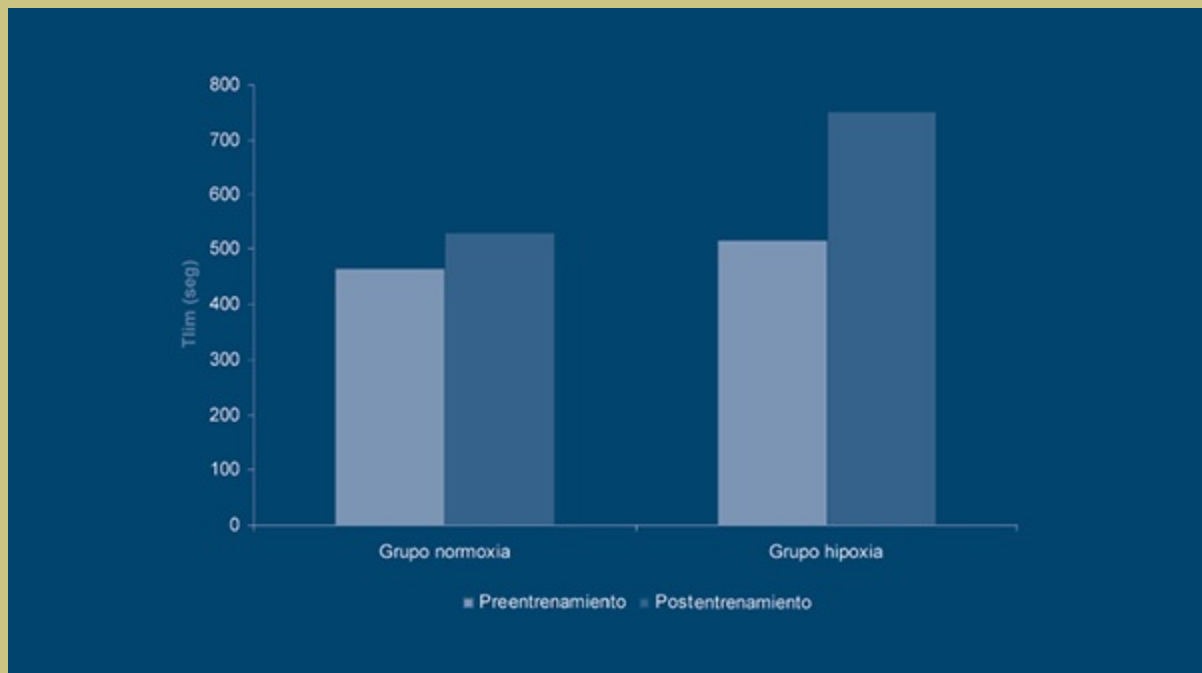


FIGURA 4.119. Diferencias sobre el Tlím a VAM de 6 semanas de entrenamiento a nivel de mar (grupo normoxia) y en altura artificial (3 veces a la semana, grupo hipoxia). Obsérvense las diferencias del incremento del Tlím a VAM entre el entrenamiento en normoxia y en hipoxia.

Adaptado de Dufour S. Tesis Doctoral. Université de Strasbourg I-Louis Pasteur, 2005.

5.2. Ajustes de la carga de entrenamiento en altura

Uno de los principales problemas del entrenamiento en altura es el **ajuste de las cargas de trabajo**, porque es difícil mantener las mismas cargas absolutas de trabajo que se realizan a nivel del mar (Levine, 2002; Böning, 1997) debido a que, como se vio anteriormente, la capacidad aeróbica disminuye conforme aumenta la altura (Terrados *et al.*, 1985; Adams y Welch, 1980). Los mecanismos responsables de esta limitación metabólica en alturas moderadas (inferiores a 3.000 m) parecen estar ligados a la disminución de la presión de O₂ en el ambiente y la reducción de la saturación de O₂ en la sangre arterial (Hughes *et al.*, 1968). En alturas más elevadas (alta y muy alta altitud) puede que además sean factores cardíacos y pulmonares los que afecten el rendimiento (Calbet *et al.*, 2003).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Los ajustes de la carga de entrenamiento tienen que realizarse de manera individualizada. Para ello se han utilizado dos **estrategias**: (i) mantener la misma intensidad de ejercicio que se haría a nivel del mar, pero acortando la duración, y (ii) ajustar las cargas de manera relativa, es decir, en función de la disminución de la capacidad máxima que se experimenta en altura (mismo porcentaje), conservando la duración, etc. De una manera u otra los estímulos mecánicos y/o los metabólicos, relacionados con el entrenamiento *per se*, estarían disminuidos en la altura. Dependiendo de los objetivos del entrenamiento habría que escoger mantener los estímulos mecánicos (Flück y Hoppeler, 2003; McConell *et al.*, 1993; Hickson *et al.*, 1982) o los metabólicos (Levine *et al.*, 2005; Levine y Stray-Gundersen, 1997).

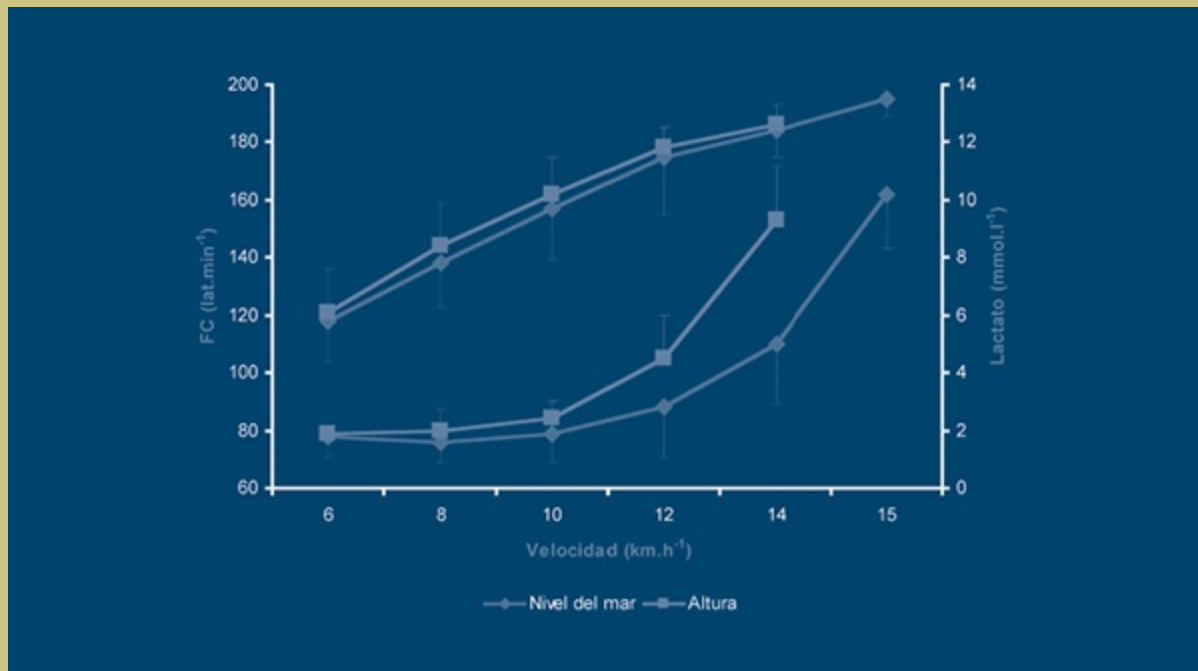


FIGURA 4.120. Diferencias de la FC y la concentración de lactato en una prueba de esfuerzo realizada a nivel del mar y a 2.300 m de altura. Obsérvese el peor perfil fisiológico y mecánico cuando se realiza un es-fuerzo en altura.

Cuando los entrenamientos son de **intensidades relativamente bajas**, es fácil mantener en altura los mismos estímulos mecánicos, manteniendo los mismos ritmos de entrenamiento e incluso las mismas intensidades y duraciones (Geiser *et al.*, 2001; Vogt *et al.*, 2001). Pero cuando se necesita entrenar a **intensidades altas** para desarrollar alguna capacidad maximal

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

(Wenger y Bell, 1986), la utilización de esas cargas altas de entrenamiento, en situación de altura moderada, puede llevar al deportista a una situación de sobrecarga o sobreentrenamiento. Esto ha llevado a intentar el uso de la altura intermitente.

En las figuras 4.120-4.122 se aprecian valores reales de la respuesta a la altura de un grupo de deportistas de elite. En la figura 4.120 se observan los valores, con la representación típica de las medias de grupo, y su comportamiento en cuanto al descenso de la capacidad de trabajo y el aumento de la FC y del lactato. En las figuras 4.121 y 4.122 se exponen los valores individuales de la respuesta al trabajo físico medido tanto en el umbral anaeróbico individual o a $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ o al 80% del $\dot{V}\text{O}_2 \text{ máx.}$, observándose unas grandísimas diferencias entre los deportistas. Dichas diferencias no se aprecian en los estudios científicos en los que se exponen las medias de los grupos estudiados.

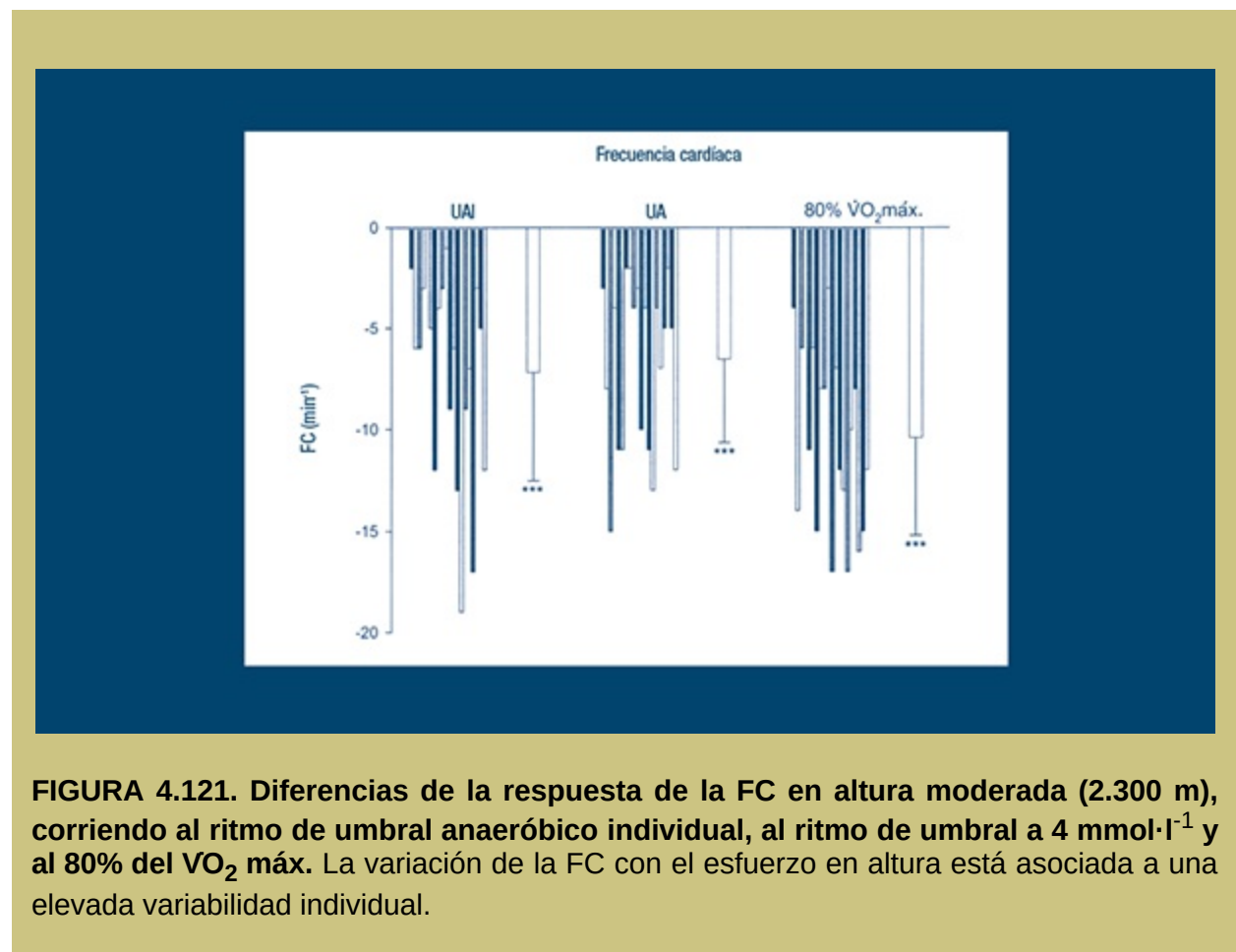


FIGURA 4.121. Diferencias de la respuesta de la FC en altura moderada (2.300 m), corriendo al ritmo de umbral anaeróbico individual, al ritmo de umbral a $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y al 80% del $\dot{V}\text{O}_2 \text{ máx.}$ La variación de la FC con el esfuerzo en altura está asociada a una elevada variabilidad individual.

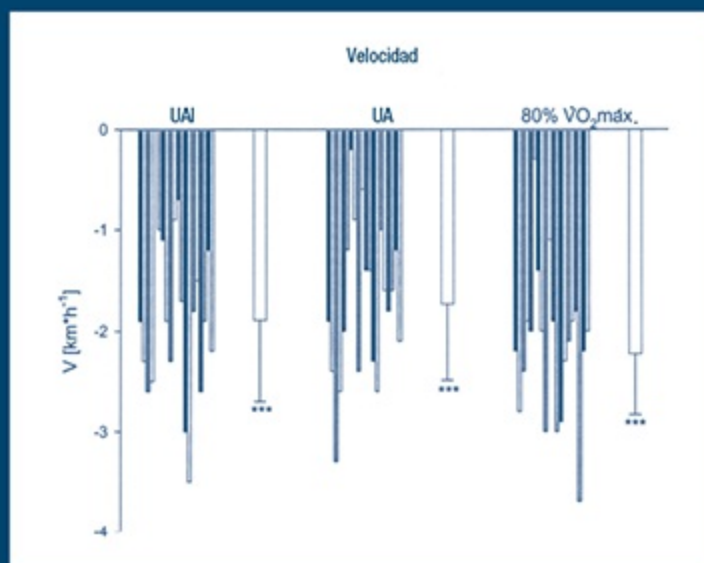


FIGURA 4.122. Diferencias de la respuesta de la velocidad en altura moderada (2.300 m), corriendo al ritmo de umbral anaeróbico individual, al ritmo de umbral a 4 mmol·l⁻¹ y al 80% del VO₂ máx. La variación de la velocidad con el esfuerzo en altura está asociada a una elevada variabilidad individual.

En los ejemplos anteriores se aprecia de manera clara que, posiblemente debido a la **variabilidad genética**, los deportistas responden de una manera muy individual a las cargas de trabajo en altura. Si bien casi todos muestran una tendencia común, en muchos casos la variación entre ellos es muy grande. Por ello, se requiere un **ajuste individualizado de las cargas de trabajo**.

En resumen, el efecto del entrenamiento en altura está muy influido por la dotación genética, lo que explica la variabilidad individual de las respuestas y los resultados de las investigaciones. Además, este efecto está mediado por factores de transcripción, los HIF, que activan determinados genes. El conocimiento de los polimorfismos genéticos relacionados con la respuesta a la hipoxia aportará en breve mucha información sobre el entrenamiento en altura. Algunos de estos mecanismos pueden tener relación con la expresión de genes relacionados con algunos tipos de cáncer y otras patologías, por lo que su conocimiento servirá para la prevención y/o el tratamiento de éstos.

5.3. Competición en altitud

Dividiremos este apartado teniendo en cuenta el predominio de la fuente metabólica en el evento deportivo, ya que, como veremos a continuación, variará mucho el rendimiento deportivo en altitud dependiendo de que sea un deporte o una especialidad deportiva que obtengan mucha energía de vías metabólicas dependientes del O_2 o no.

Deportes de alto componente aeróbico

Como ya se observó en los JJOO de México en 1968, en las **pruebas deportivas con alto componente aeróbico** el rendimiento disminuyó claramente debido en lo fundamental a la **disminución del $\dot{V}O_2$ máx.** por la hipoxia que se experimenta en altitud. En las pruebas atléticas de larga distancia no sólo se observaron empeoramientos drásticos en comparación con las marcas a nivel del mar, sino que también en algunas de ellas se produjeron colapsos y desmayos inesperados. En alguna de estas pruebas hubo excepciones, pero fueron en atletas (Keino-1.500 m, Biwott-3.000 m obstáculos y Temu-10.000 m) kenianos, que habían vivido y entrenado toda su vida en una altitud similar a la de México.

En pruebas de alto componente aeróbico como el ciclismo, el patinaje de velocidad y el esquí de fondo la merma del rendimiento que supone el disponer de menos O_2 se ve en parte compensada por la **disminución de la resistencia del aire**, que reducirá el coste energético. Por ello, el récord de la hora en ciclismo es relativamente más fácil batirlo en altura (por la menor resistencia del aire) que al nivel del mar.

Para solventar el problema de tener que competir en este tipo de pruebas en altitud, se han utilizado dos **estrategias**. La primera consiste en llegar a altitud justo antes de la competición, competir y volver al nivel del mar para así evitar el inicio de las alteraciones respiratorias, los síntomas asociados a los primeros días de estancia en altura (náuseas, dolores de cabeza, distrés respiratorio e insomnio) y sobre todo el inicio de la reducción del gasto cardíaco. Esta estrategia, por las dificultades de un viaje de esas características, sólo se utiliza en circunstancias y deportes muy concretos. La segunda estrategia consiste en entrenar unas semanas en altitud para aclimatarse a esas condiciones y adecuar el ritmo de competición a la

situación de hipoxia. Se considera que como mínimo el período de aclimatación debe ser de 2 semanas (siendo mejor 3 semanas) para que así se completen las principales adaptaciones metabólicas y hematológicas. De los estudios realizados hasta el momento se puede deducir que tanto la endurance (expresada como el tiempo que puede mantener un deportista una carga determinada de trabajo) como el rendimiento (expresado como el tiempo que aquél tarda en recorrer una distancia) en altitud mejoran mucho después de un período de aclimatación y entrenamiento en altitud. En un estudio realizado por nuestro grupo de trabajo (véase Terrados *et al.*, 1988) se observó claramente que el rendimiento en altitud (2.300 m) de un grupo de ciclistas que habían entrenado en esa altura fue muy superior al rendimiento en esa misma altura de otro grupo de ciclistas que realizaron el mismo entrenamiento, pero a nivel del mar.

Se puede concluir que en los deportes con alto componente aeróbico el rendimiento deportivo en altitud mejora claramente después de un período de aclimatación y entrenamiento en dicha altitud. Este período de aclimatación debe durar unas 3 semanas.

Deportes de velocidad

Tomando otra vez como referencia los JJOO de México, cabe observar que en las **pruebas atléticas de duración menor de 2 min**, debido a la **menor fuerza de gravedad** y a la **menor resistencia del aire**, mejoraron mucho los rendimientos (tiempos). De hecho, se batieron los récords mundiales de 100, 200 y 400 m lisos, tardando alguno de ellos (p. ej., 400 m) muchos años en ser superados de nuevo. En otras competiciones posteriores realizadas en altitud se han establecido marcas muy difíciles de batir a nivel del mar (p. ej., el récord de los 100 m batido en Colorado Springs a 2.200 m). Estos factores también tuvieron su influencia en los récords del mundo en salto de longitud y en el establecido también en México en 1975 en triple salto, que no fue batido hasta 1985.

Deportes de fuerza

El rendimiento en altura en **deportes de fuerza** es dependiente de las características de la modalidad deportiva. La **fuerza muscular** no es afectada por la hipoxia, por lo que el rendimiento en deportes como la halterofilia no

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

se modifica a altitudes moderadas. Sin embargo, pruebas atléticas como el lanzamiento de peso o de martillo son beneficiadas en altitud por la **menor fuerza de gravedad** y la **menor resistencia del aire**.

5.4. Mecanismos hematológicos y no hematológicos

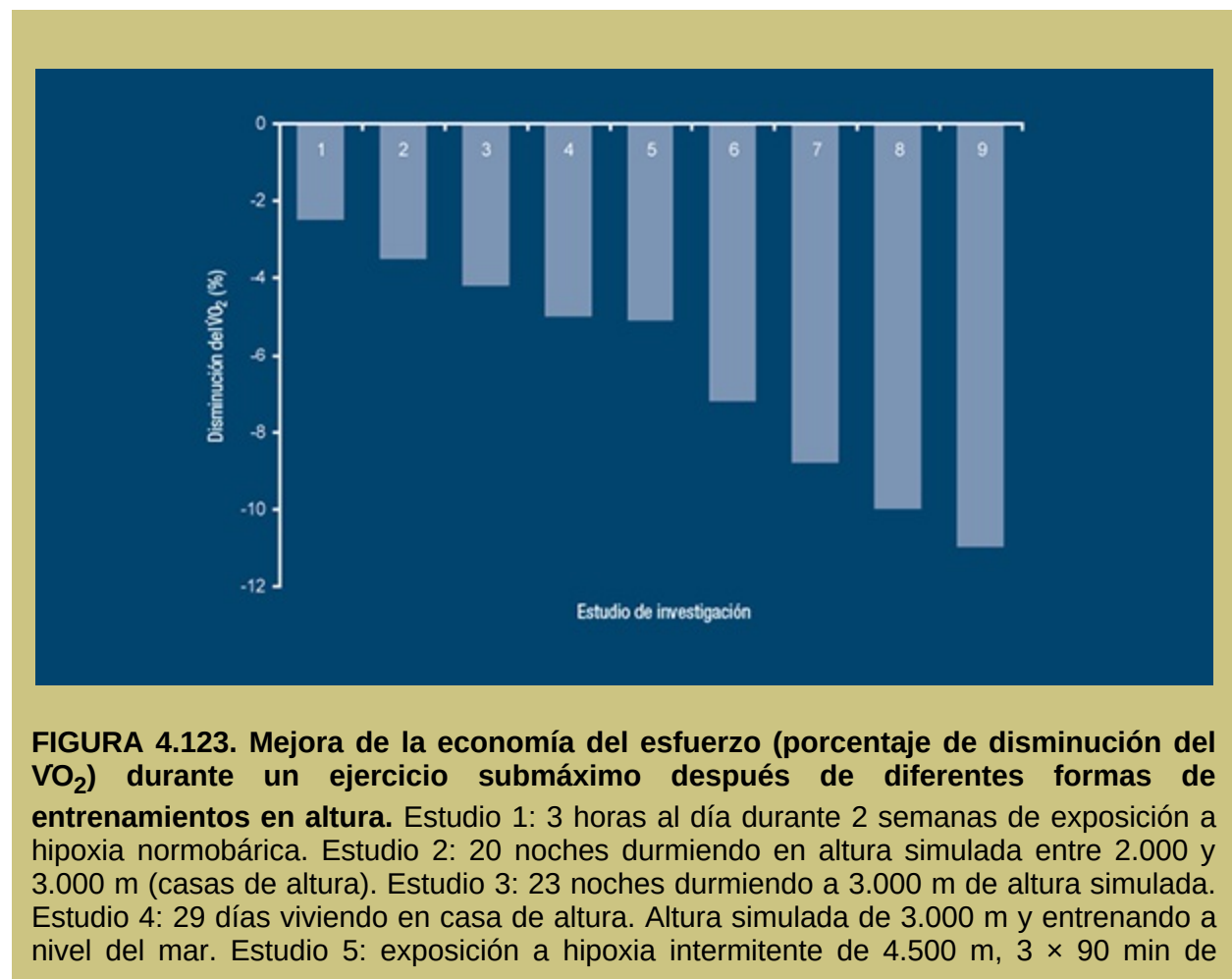
Después de los primeros estudios en los que se pensó que la hipoxia podía ser un estímulo para el metabolismo muscular y la formación de mioglobina y capilares (para revisión véase Terrados 1992a), los investigadores centraron más sus estudios en **efectos hematológicos** (véanse los estudios de Levine *et al.*, 2002, 1997, 1992), pensando que el efecto beneficioso para el rendimiento era debido al **aumento de la eritropoyetina** causado por la hipoxia, lo que haría que aumentara la masa de hematíes y de hemoglobina, el VO_2 máx. y el rendimiento aeróbico. Pero luego se fue comprobando que el efecto hematológico no podía ser el único beneficio; de hecho, los nativos y residentes en altura no siempre aumentan su concentración de hemoglobina. En concreto, tibetanos y etíopes no tienen aumentada la hemoglobina como la tienen los nativos de los Andes. Por ello, se volvió a especular sobre la posibilidad de que otros factores, además de los hematológicos, fueran la causa de la mejora del rendimiento a nivel del mar después de entrenamientos en altura natural o artificial. Se habló entonces de mecanismos hematológicos y mecanismos no hematológicos.

Diversos estudios han demostrado mejoras del rendimiento después de entrenamientos en altura, sin que hubiera aumento de hematíes y hemoglobina, es decir, mejoras del rendimiento sin mejoras hematológicas. Hay que recordar que la hipoxia produce una serie de **efectos no hematológicos** (para revisión, Gore *et al.*, 2007) posiblemente mediados por los HIF-1, que son: angiogénesis, mejor transporte de la glucosa, aumento de la glucólisis, mejor regulación del pH, mayor eficiencia muscular (mitocondrial), aumento de la capacidad tampón muscular, mayor tolerancia al lactato y mayores niveles de UCP3, lo que atenúa la salida de protones de la membrana mitocondrial y mejora la eficiencia de la oxidación mitocondrial. Todos ellos, juntos o separados, pueden justificar un aumento del rendimiento físico, independientemente del aumento de hematíes.

Hay que destacar que la mejora de la eficiencia energética después de

entrenamientos en altura moderada, comprobada en diferentes estudios (véase la figura 4.123), puede ser de gran importancia para el rendimiento deportivo.

La regulación del pH muscular junto con la capacidad tampón y la tolerancia al lactato son también unos mecanismos de gran importancia en el rendimiento deportivo, sobre todo en deportes en los que se utilice mucho la vía glucolítica y haya gran producción de hidrogeniones y cambios del pH. En el ejercicio muy intenso, cuando la producción de lactato es muy alta, el transporte y el manejo de ese lactato son facilitados por unos transportadores específicos (MCT1 y MCT4), y ese transporte está asociado al de los hidrogeniones (H^+). Por ello, el aumento de MCT1 y MCT4 puede reducir las alteraciones del pH intramuscular, tal como se ha observado en algunos estudios muy recientes realizados en animales entrenados en hipoxia y en seres humanos (ver revisión de Gore, 2007). En general esos estudios parecen indicar que la aclimatación a la altura puede mejorar el transporte de lactato e hidrogeniones, lo que mejoraría la tolerancia al lactato.



*****ebook converter DEMO Watermarks*****

entrenamiento a la semana, durante 3 semanas. Estudio 6: 5 noches a 2.500 m seguidas de 10 noches a 3.000-3.500 m, durmiendo en altura simulada y entrenando a 1.200 m. Estudio 7: montañismo durante 3 semanas a unos 6.194 m. Estudios 8 y 9: estancias de larga duración a 3.500-4.500 m. Obsérvese la mejora de la economía del esfuerzo con diferentes formas de entrenamiento en altura.

Adaptado de Gore CJ et al. Med Sci Sports Exerc 2007;39:1600-9.

Además, desde los estudios de Mizuno *et al.*, (1990) se sabe que el entrenamiento en altura moderada puede mejorar la capacidad tampón muscular, que estaría muy relacionada con lo expuesto anteriormente.

5.5. Posibles efectos desfavorables del entrenamiento en altitud moderada

Tenemos que recordar que el entrenamiento en altura puede tener efectos desfavorables y además puede ser negativo cuando se programa en un momento erróneo, en un deporte inadecuado o con una calibración de cargas de entrenamiento mal ajustadas. Entre los posibles **efectos desfavorables del entrenamiento en altitud moderada** podemos destacar un efecto negativo en la función cardíaca, efectos en el metabolismo anaeróbico, atrofia muscular, alteración del sueño y del descanso, acumulación de fatiga y reducción del sistema inmunitario.

Debido a la hipoxia, en altura puede haber un efecto negativo sobre la **función cardíaca**, pues se ha observado una disminución del gasto cardíaco, principalmente debido a una reducción del volumen sistólico y a una menor contractilidad del miocardio. También el **metabolismo anaeróbico** puede estar afectado por la altura, ya que los estudios sobre estancias largas en altura muestran una disminución de la producción de lactato, sobre todo del lactato máximo, lo que ha hecho pensar en la posibilidad de que la hipoxia inhiba el metabolismo anaeróbico. Pero los estudios en alturas moderadas no muestran claramente ese efecto. En altitud elevada sí se ha observado que la altura disminuye el contenido muscular de Na⁺/K⁺-ATPasa, lo que influiría en el metabolismo anaeróbico y la fatiga. En alturas moderadas sólo se han visto cambios pequeños (3%) de esa enzima. La hipoxia también puede producir **atrofia muscular** por inhibición de la síntesis proteica, como se ha visto en las expediciones de alta montaña, a muy elevada altitud. En alturas moderadas no se ha constatado, pero hay que tener en cuenta esta posibilidad.

Dado que en el deporte de alto rendimiento **el sueño y el descanso** son fundamentales para la recuperación del deportista, hay que recordar que, tal como se ha mencionado antes, uno de los síntomas menores que pueden aparecer en altura moderada es el insomnio y/o las alteraciones del sueño, aunque esto sólo ocurre de manera individualizada en los deportistas más susceptibles.

Como se vio en el apartado relacionado con la individualización del entrenamiento, en altura las mismas cargas de trabajo que las realizadas a nivel del mar producen generalmente más **fatiga**, por lo que las recuperaciones intrasesión e intersesión tienen que ajustarse muy bien. Además hay que aumentar las pautas de recuperación (véase Terrados *et al.*, 2004).

Por último, hay que señalar el posible efecto negativo de las estancias en altura en el **sistema inmunitario**. En altura moderada y mucho más en altitud elevada se ha descrito una disminución del sistema inmunitario que, si bien es pequeño en alturas moderadas, puede sumarse a los descensos de este sistema que son inducidos por el ejercicio muy intenso; este hace que aumente el riesgo de infecciones y patologías en tales situaciones.

Síntesis

- El entrenamiento y/o exposición a altitud moderada puede constituir una adecuada estrategia para incrementar el rendimiento deportivo, tanto en altura como a nivel del mar, en numerosas modalidades deportivas.
- En deportes con alto componente aeróbico, el rendimiento en altura disminuye significativamente debido a la hipoxia, pero un período de aclimatación y entrenamiento en altura de 3 semanas permite reducir estas limitaciones. En deportes de una duración inferior a 2 min el rendimiento se ve incrementado en altura debido a la menor fuerza de gravedad y resistencia del aire. Estos factores son las causas de la mejora del rendimiento en otras modalidades como saltos y lanzamientos. La menor resistencia del aire mejora la economía del esfuerzo, por lo que se observan mejoras del rendimiento en modalidades en las que su influencia es determinante, como las pruebas cronometradas de ciclismo.
- Los mecanismos del organismo para compensar la hipoxia asociada a la altura son la causa de las diferentes adaptaciones que producen una

mejora del rendimiento deportivo.

- Existen diferentes soluciones tecnológicas que permiten simular artificialmente el efecto de la hipoxia asociado a la altura, estableciéndose así diferentes modalidades de entrenamiento: vivir y entrenar en altura moderada, vivir a nivel del mar y entrenar en altura real o simulada, y vivir en altura real o simulada y entrenar a nivel del mar.
- El vivir en altura real o simulada y entrenar a nivel del mar se ha asociado a mejoras del rendimiento deportivo que pueden estar asociadas a un aumento de la concentración de hemoglobina y hematíes como respuesta de eritropoyesis al estímulo de la hipoxia. También se ha observado una mejora de la eficiencia metabólica que podría asociarse a un aumento del número de moléculas de ATP generadas por la oxidación de una molécula de O_2 y/o por una disminución de moléculas de ATP necesarias para desarrollar una determinada potencia muscular.
- El entrenar y vivir en altura incrementa las alteraciones de la homeostasis al añadir el efecto del ejercicio al efecto de la altura, por lo que es necesario controlar el estímulo de entrenamiento. Para reducir estas alteraciones y los efectos nocivos que la altura tiene en algunos sujetos, se utiliza el entrenamiento en altura simulada.
- El entrenar en altura y vivir a nivel del mar produce una mejora del rendimiento en altura, pero son controvertidos los resultados observados para el rendimiento a nivel del mar. Las posibles causas de la mejora del rendimiento se han asociado a factores musculares como la velocidad de reoxigenación muscular postesfuerzo, la mayor resíntesis de la PCr, el aumento de la capacidad tampón muscular, la mejora de las enzimas oxidativas, el aumento de la capilarización muscular, así como de la densidad y la longitud de los capilares, y el aumento de la densidad mitocondrial. Sin embargo, no se han observado mejoras de la capacidad de transporte de O_2 .
- Actualmente se sabe que la activación del HIF, un factor de transcripción que regula varios genes relacionados con los mecanismos compensatorios de la hipoxia, de las alteraciones metabólicas y del estrés oxidativo, puede dar origen a las adaptaciones estructurales y funcionales generales del entrenamiento en altura, determinando un efecto específico a nivel molecular en el músculo esquelético diferente del efecto del entrenamiento en condiciones de normoxia.

- Existe una marcada variabilidad individual en la respuesta a la altitud, tanto natural como simulada, que cabría explicar por variaciones en polimorfismos genéticos que determinan que haya personas que responden bien al estímulo de altura y personas que no responden o responden mal a este estímulo, y que probablemente pueden explicar también la variabilidad de los resultados de las investigaciones. La variabilidad genética es probablemente también la responsable de la diferente respuesta a las cargas de entrenamiento en altura, por lo que se requiere ajustar el estímulo de entrenamiento de manera individualizada.
- El conocimiento de los polimorfismos genéticos relacionados con la respuesta a la hipoxia aportará en breve mucha información sobre el entrenamiento en altura. Algunos de los mecanismos de activación de los genes asociados al entrenamiento en altura pueden tener relación con la expresión de genes relacionados con algunos tipos de cáncer y otras patologías, por lo que su conocimiento servirá para la prevención y/o tratamiento de éstos.

Cuestionario de asimilación

1. Establece qué período de tiempo es óptimo para producir adaptaciones para una competición en altura moderada.
2. Indica la principal característica física de la altitud.
3. Señala la principal característica fisiológica de la exposición en altura.
4. Indica si la respuesta del organismo para compensar la hipoxia asociada a la altitud es suficiente para mantener el rendimiento aeróbico.
5. Enumera las soluciones tecnológicas que existen actualmente para entrenar y/o vivir en altura simulada.
6. Indica los síntomas que presentan algunos sujetos en los primeros días de estancia en altitud moderada.
7. Explica las distintas modalidades de entrenamiento en altura.
8. Establece qué diferencias existen en las adaptaciones fisiológicas entre vivir en altura y entrenar a nivel del mar y vivir a nivel del mar y entrenar en altura.

9. Justifica cuál es probablemente la causa de las diferencias entre personas en la adaptación al entrenamiento en altura.

Evaluación y control de la resistencia

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer la diferencia y aplicabilidad de determinar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de resistencia.
- Comprender la importancia del control diario de indicadores de resistencia para determinar el efecto final de su entrenamiento.
- Conocer el instrumental requerido, las directrices metodológicas básicas, las limitaciones y las aplicaciones prácticas de las principales pruebas que permiten evaluar los distintos factores que determinan el rendimiento de resistencia en los esfuerzos continuos y reorientar su entrenamiento.
- Conocer el instrumental requerido, las directrices metodológicas básicas, las limitaciones y las aplicaciones prácticas de las principales pruebas que permiten evaluar los distintos factores que determinan el rendimiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes y reorientar su entrenamiento.
- Seleccionar los tests más adecuados para evaluar el efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de resistencia en las distintas modalidades deportivas e interpretar sus resultados para reorientar el entrenamiento.

Índice

- 6.1. Determinación del efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de resistencia
- 6.2. Evaluación en esfuerzos continuos que demandan energía inferior al consumo máximo de oxígeno
 - Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo
 - Determinación de factores de rendimiento mediante pruebas de intensidad progresiva submáxima y de intensidad constante
- 6.3. Evaluación en esfuerzos continuos que demandan energía superior al consumo máximo de oxígeno
 - Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba de intensidad

progresiva hasta el esfuerzo máximo

Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba supramáxima

6.4. Evaluación en esfuerzos intermitentes

Síntesis

Cuestionario de asimilación

De forma equivalente a lo establecido para la evaluación y el control del entrenamiento de fuerza, inicialmente se analiza la diferenciación entre determinar el efecto final y los efectos parciales del programa de entrenamiento de resistencia. En este capítulo se han identificado numerosos factores de rendimiento dependientes de la duración de la competición, la variación de intensidad y el tipo de esfuerzo. Se muestra en este apartado las características, limitaciones y aplicaciones prácticas de las distintas pruebas que permiten determinar los factores que limitan el rendimiento en los esfuerzos continuos que demandan energía superior o inferior a la aportada por el metabolismo aeróbico, y en los esfuerzos intermitentes.

6.1. Determinación del efecto final y los efectos parciales del entrenamiento de resistencia

Numerosos parámetros se miden actualmente para determinar el efecto del entrenamiento de resistencia. Además, estos parámetros pueden ser valorados con diferentes pruebas y métodos de mayor o menor utilidad en función de las características de los deportistas y de la modalidad deportiva. Nuevamente es necesario resaltar que el principal fundamento de cualquier prueba de valoración es que los resultados obtenidos sean aplicables al entrenamiento de los deportistas. Debido al carácter multifactorial asociado al rendimiento de resistencia de la mayoría de las modalidades deportivas, la mejora de un factor de rendimiento no tiene por qué asociarse a un mayor rendimiento en competición. Igualmente, la ausencia de mejora de un factor de rendimiento no tiene por qué asociarse a que no mejore el rendimiento. Por ejemplo, en corredores de elite de media y larga distancia se ha observado una mejora del rendimiento después de 3 años de entrenamiento sin cambios del VO_2 máx. (Legaz-Arrese *et al.*, 2005).

La determinación de parámetros asociados al rendimiento de resistencia (p. ej., VO_2 máx., VAM, VUan) es importante para la planificación del entrenamiento. Sin embargo, de forma análoga a lo establecido para la evaluación de la fuerza explosiva, el **efecto final del entrenamiento de resistencia** debe valorarse mediante **pruebas que simulen la competición**.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Así, la mejor prueba para determinar el efecto final del entrenamiento de resistencia en un corredor de 1.500 m es medir el tiempo que tarda en recorrer 1.500 m. En los esfuerzos continuos, como en la mayoría de las **sesiones de entrenamiento** se controla el tiempo que un deportista tarda en recorrer determinadas distancias, la simple comparación del tiempo que tardan otros deportistas o el mismo deportista en diferentes temporadas o momentos de la temporada es útil para determinar el efecto del entrenamiento de resistencia.

En un esfuerzo continuo, desde nuestra perspectiva, conocer si un deportista ha mejorado o no el rendimiento en la propia prueba de competición o en distancias similares y comparar la evolución del tiempo que requiere para recorrer distancias habitualmente utilizadas en las series de entrenamiento son algo básico para la programación del entrenamiento de resistencia. Sin embargo, al menos para los deportistas de elite, estos datos son insuficientes. En este sentido, el primer aspecto a considerar es que la mejora del rendimiento en competición tiene que manifestarse cuando el deportista ha sido sometido al entrenamiento de todos los factores de rendimiento básicos y específicos asociados a su modalidad deportiva. Mientras dura este proceso de entrenamiento, habitualmente denominado macrociclo, se puede estar realizando un entrenamiento adecuado que no tiene por qué asociarse a la mejora inmediata del rendimiento. Por ejemplo, para un corredor de 3.000 m, en el marco del nivel facilitado de entrenamiento, en la fase temprana de la planificación podemos estar aplicando un método continuo a intensidad elevada que probablemente va a producir una mejora de parámetros como la VUan y la eficiencia aeróbica-anaeróbica. La determinación de estos parámetros debe ser uno de los indicadores de la efectividad del entrenamiento en esta fase de la planificación. En este caso, si el deportista es de muy alto nivel, la ausencia en esta fase de la planificación de entrenamientos fraccionados de elevada intensidad puede causar un descenso del rendimiento en competición aunque el entrenamiento realizado sea el adecuado para optimizar el rendimiento a largo plazo. Por tanto, es necesario que el entrenador secuencie adecuadamente las pruebas de valoración que en cada momento sean aplicables para determinar los **efectos parciales del entrenamiento de resistencia** asociado a la determinación de **los distintos factores de rendimiento**.

Otro de los objetivos de la valoración de un deportista es determinar los

factores con mayor deficiencia relativa. Para este fin, únicamente una valoración global de todos los factores de rendimiento específicos de la modalidad deportiva permitirá, mediante la comparación con otros deportistas y/o con los datos del deportista de otras valoraciones, establecer las áreas de deficiencia de cada deportista para reorientar e individualizar el entrenamiento.

El objetivo de este apartado es mostrar al lector la aplicabilidad que tienen las diferentes pruebas de valoración de la resistencia para determinar los efectos parciales y **reorientar el entrenamiento**. Se establece una diferenciación entre las pruebas más adecuadas para la evaluación de la resistencia en los esfuerzos continuos y en los esfuerzos intermitentes. Debido a la diferenciación de los factores de rendimiento en función de la duración de la competición, para los esfuerzos continuos se establece un análisis en función de los esfuerzos que demanden una energía inferior o superior a la aportada por el metabolismo aeróbico.

6.2. Evaluación en esfuerzos continuos que demandan energía inferior al consumo máximo de oxígeno

Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo

A partir de la investigación realizada por Hill y Lupton (1923) sobre la determinación del VO_2 máx., las **pruebas de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo** son las más aplicadas para valorar la capacidad de resistencia de los deportistas. Aunque no exento de críticas, entre otros motivos porque en ninguna modalidad deportiva se realiza un esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento (Noakes, 2008), la popularidad de esta prueba es en cierto modo lógica si consideramos que en **VO_2 máx.**, sólo 10-20 min se determina, además de las principales variables que delimitan las distintas zonas metabólicas (eficiencia aeróbica, eficiencia aeróbica-anaeróbica y eficiencia anaeróbica): **VAM**, **VUae** y **VUan**. Por otra parte, mediante la relación entre el VO_2 y el lactato con la intensidad del esfuerzo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

se puede determinar la **economía del esfuerzo** y la intensidad correspondiente a la tolerancia a distintas concentraciones de lactato. Esto implica que, exceptuando la capacidad aeróbica glucolítica, la movilización de las grasas, la termorregulación y el equilibrio hidroelectrolítico, un test de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo aporta información sobre todos los factores de rendimiento asociados con los esfuerzos máximos continuos que requieren una intensidad inferior a la aportada por el metabolismo aeróbico. Esta información es teóricamente definitiva para algunas variables como el VO_2 máx., la VAM, la VUae, la VUan y la economía del esfuerzo, y necesaria para el cálculo de otras variables como el Tlím a VAM y el Tlím a VUan, y para la determinación de la eficiencia aeróbica, la eficiencia aeróbica-anaeróbica y la tolerancia al lactato.

Las pruebas de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo se pueden realizar en laboratorio y en campo. En el **laboratorio** es necesario disponer de **ergómetros** que permitan medir el trabajo y graduar la intensidad. En la actualidad hay ergómetros que permiten simular la motricidad de las distintas disciplinas asociadas a los esfuerzos continuos. En **pruebas de campo**, la intensidad se controla habitualmente mediante la **velocidad de desplazamiento** o potencia desarrollada.

Para medir la respuesta respiratoria durante el esfuerzo se requiere un **ergoespirómetro**. Actualmente la valoración ergoespirométrica consiste en un sistema abierto inspirando aire del ambiente que permite el análisis de los flujos y las concentraciones gaseosas respiración a respiración. El desarrollo tecnológico ha permitido el diseño de **espirómetros portátiles** fiables para utilizar en situaciones de campo, que permiten recoger las señales de flujo y composición de los gases y almacenarlos en una memoria para su posterior análisis, e incluso conocer los datos en tiempo real mediante transmisión telemétrica (figura 4.124). Los parámetros básicos recogidos por un ergoespirómetro son la frecuencia respiratoria, el volumen espirado por minuto (VE) y la concentración de O_2 (FEO_2) y CO_2 (FECO_2) en el aire espirado. Sobre estos parámetros se calcula el consumo de O_2 (VO_2), la producción de CO_2 (VCO_2) y la presión de O_2 y CO_2 al final del volumen corriente (PETO_2 , PETCO_2). La interrelación de estas variables permite determinar, por ejemplo, el cociente respiratorio (QR), que determina la *ratio* entre la eliminación de CO_2 y el consumo de O_2 por unidad de tiempo (VCO_2/VO_2), e indicadores de la economía ventilatoria como los

equivalentes respiratorios de VO_2 y CO_2 , que determinan, respectivamente, los litros de aire necesarios para consumir un litro de O_2 (VE/VO_2) y para eliminar un litro de CO_2 (VE/VCO_2).

Se requiere, además, un **analizador de lactato** en el caso de que el Uae y Uan se determinen mediante uno de los métodos asociados a la relación entre la intensidad del esfuerzo y la concentración de lactato. En la actualidad, los métodos enzimáticos o micrométodos precisan para la determinación del lactato muestras de sangre muy pequeñas y son especialmente útiles en pruebas de campo. Se recomienda la toma de muestras de sangre del lóbulo de la oreja previamente limpiado para eliminar el sudor; se aplica entonces un rubefaciente que contribuye a arterializar la sangre del territorio y se retira este producto antes de la punción. Hay que evitar la presión excesiva sobre el lóbulo que contribuye a hemolizar la sangre antes de su extracción. Una buena punción permite extraer numerosas muestras de sangre a lo largo de un test sin presionar excesivamente. Si la muestra no se va a analizar acto seguido, conviene hemolizar y tratar la muestra en muy pocos segundos.



FIGURA 4.124. Espirómetro portátil utilizado en pruebas de campo.

Simultáneamente, es habitual registrar la FC durante el esfuerzo. En pruebas de laboratorio siempre se debe registrar la FC mediante **electrocardiograma (ECG)**, lo que permite descartar comportamientos patológicos del corazón en el esfuerzo. En pruebas de campo, la FC se determina mediante **pulsómetros**, siendo conveniente realizar previamente una valoración en laboratorio con análisis de la señal ECG. Simultáneamente, en las pruebas de laboratorio es necesario el registro de las **presiones arteriales** mediante el método tradicional auscultatorio a través de los ruidos de Korotkov con el fin de detectar hipertensiones de esfuerzo mediante la comparación con los perfiles tensionales normales.

Son numerosos los **protocolos** establecidos para la ejecución de una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo. La diferenciación está determinada por la intensidad inicial, el incremento de intensidad, la duración en cada intensidad y el descanso entre intensidades. La intensidad inicial depende del nivel de los deportistas y debe ser lo suficiente baja como para garantizar el requerimiento exclusivo del metabolismo aeróbico. Es habitual comenzar con una intensidad equivalente a la de un calentamiento, por ejemplo, para deportistas de elite, $8\text{-}10\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en cinta ergométrica ó 150 W en cicloergómetro. El aumento de la intensidad se asocia a la duración del esfuerzo establecida para cada intensidad. Un incremento de intensidad bajo acompañado de una duración del esfuerzo prolongada en cada intensidad implica una duración excesiva de la prueba, pudiendo producir una fatiga muscular que impida desarrollar el VO_2 máx. real del deportista (Bentley *et al.*, 2007). Desde esta perspectiva, como se especifica en la figura 4.125, un menor incremento de intensidad debe estar asociado a una menor duración del esfuerzo en cada intensidad. Los protocolos asociados al mantenimiento de la intensidad poco tiempo, o incluso al incremento continuo en el tiempo de la intensidad, son válidos para determinar el VO_2 máx. y los umbrales ventilatorios; sin embargo, cuanto menor sea la duración del esfuerzo en cada intensidad, habrá un mayor margen de error en la determinación de las variables a intensidad submáxima como el VO_2 o la concentración de lactato (Bentley *et al.*, 2007). Esto se debe a que una duración del esfuerzo corta no permite al deportista estabilizar su situación metabólica correspondiente a la intensidad del esfuerzo. Desde esta perspectiva es cierto que, cuanto mayor

sea la duración del esfuerzo en cada intensidad, mayor será la seguridad de que los valores obtenidos correspondan a la situación metabólica estable para cada intensidad del esfuerzo. No obstante, como se ha especificado anteriormente, un incremento excesivo de la duración del esfuerzo en cada intensidad puede limitar la valoración del VO_2 máx. En cierto modo, cabe considerar que los distintos objetivos de valoración de una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo requieren, para reducir el margen de error, protocolos diferenciados: relativamente cortos para determinar las variables asociadas al esfuerzo máximo y relativamente largos para determinar las variables asociadas a intensidades submáximas. Con el fin de combinar ambos objetivos en una misma prueba, cuando se determina la concentración de lactato, la recomendación descrita en la literatura científica (Bentley *et al.*, 2007) y utilizada habitualmente en los centros de valoración es mantener cada intensidad durante 3-4 min realizando un incremento significativo de la intensidad, por ejemplo $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en cinta ergométrica y 60 W en cicloergómetro y remoergómetro. Si hay que determinar el Uae y/o el Uan mediante la concentración de lactato, aunque lo ideal es realizar la extracción de sangre sin detener el ejercicio, en algunos ergómetros como la cinta sin fin se requeriría introducir un catéter venoso. En estas circunstancias lo habitual es realizar un descanso entre cada intensidad de esfuerzo de 30 seg a 1 min. Posteriormente, se practicará un análisis más concreto del margen de error de estos protocolos en la determinación de las variables asociadas a una intensidad submáxima.

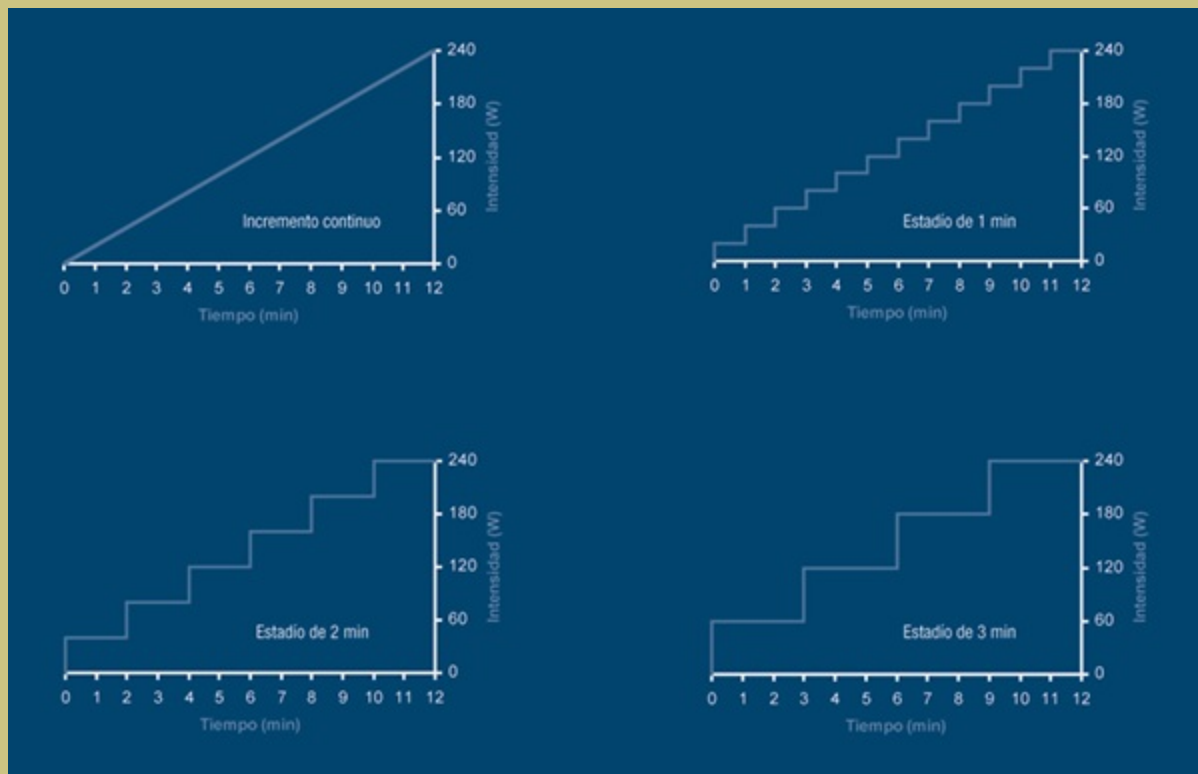


FIGURA 4.125. Relación habitual entre el incremento de la intensidad y la duración del esfuerzo en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Cuanto menor sea la duración del esfuerzo en cada intensidad, menor será también el incremento de la intensidad.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

VO_2 máx.

El VO_2 se incrementa de forma lineal y progresiva a la intensidad de esfuerzo hasta que a una determinada intensidad el deportista desarrolla el VO_2 máx. Si se somete al deportista a una intensidad superior, el deportista, además de precisar el VO_2 máx., tiene que satisfacer el requerimiento energético extra mediante la aportación del metabolismo anaeróbico. Por este motivo, teóricamente, cuando se somete al deportista a una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento máximo voluntario, se observa un aplanamiento o **meseta en la relación VO_2 /intensidad** (véase la figura 4.20). En este caso, o cuando el aumento de intensidad se asocia a un incremento

del VO_2 inferior a $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, el valor máximo del VO_2 obtenido se considera el **VO_2 máx.** del deportista. Sin embargo, en $\sim 50\%$ de los casos no se observa un aplanamiento de la relación VO_2 /intensidad, aun considerando que el esfuerzo ha sido máximo (Lucía *et al.*, 2006a) (véase la figura 4.58). En estos casos, el valor más elevado del VO_2 se considera el **pico de VO_2** , que a efectos prácticos sería el VO_2 máx. del deportista. Como puede existir la duda de si el deportista se ha esforzado al máximo, se establecen **criterios indirectos** para establecer si el valor más elevado del VO_2 corresponde al pico real del VO_2 del deportista. Estos criterios indirectos están asociados a los valores habituales en un esfuerzo máximo en distintas variables (FC, lactato, cociente respiratorio y percepción subjetiva de fatiga). Sin embargo, no existe en la literatura específica un consenso común sobre los valores que hay que alcanzar (para una revisión, véase Midgley *et al.*, 2007b), e incluso su validez ha sido claramente cuestionada (Poole *et al.*, 2008; Lucía *et al.*, 2006a).

El VO_2 máx. se expresa habitualmente en **valores absolutos** ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) o en **valores relativos** a la masa corporal ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). En deportes como el remo, debido a que lo más importante es la respuesta de trabajo total, lo más adecuado es la expresión en términos absolutos. En las modalidades en las que se requiere superar el propio peso corporal, el VO_2 máx. debe expresarse en términos relativos. En este caso, para valorar por ejemplo si los cambios del VO_2 se deben a variaciones reales del potencial oxidativo o a una distinta proporción de los tejidos corporales, se realiza la corrección para el peso magro ($\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{pmc}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

VAM

La **determinación de la VAM** es de utilidad, ya que integra el VO_2 máx. y la economía de esfuerzo en un único factor (véase la figura 4.23). Aunque la VAM está habitualmente establecida en la literatura científica, su determinación es confusa debido a la conceptualización del término y a la variedad de protocolos utilizados (véase Billat y Koralsztein, 1996).

La **valoración indirecta de la VAM** tiene sus orígenes en el test de la Universidad de Montreal (the Université de Montréal Track Test) (Léger y Boucher, 1980). Los autores utilizaron el concepto **maximal aerobic speed**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

(MAS) para predecir el VO_2 máx. La MAS se consideró la máxima velocidad que un deportista es capaz de mantener durante 2 min en un protocolo de intensidad progresiva en pista de atletismo (velocidad inicial $8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con incremento de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 min). Para asegurar que el deportista ha realizado un esfuerzo máximo, Billat y Koralsztein (1996) propusieron medir la FC considerando que la diferencia entre las dos últimas velocidades debe ser inferior a $5 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$. Este protocolo puede ser útil cuando no se dispone de recursos tecnológicos. Sin embargo, no considera que el deportista haya podido desarrollar su VO_2 máx. a una velocidad inferior a la máxima velocidad del test y especialmente el nivel de precisión ($2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) es excesivo para establecer diferencias entre deportistas y para determinar los efectos del entrenamiento. Si se utiliza este test, recomendamos considerar la máxima velocidad desarrollada por el deportista independientemente de si ha sido capaz de mantenerla durante 2 min, ajustando la VAM según las directrices propuestas por Kuipers *et al.*, (1985) (véase la página siguiente).

La **valoración directa de la VAM** requiere la **valoración del VO_2 máx.** En la literatura no existe un protocolo definido para la determinación directa de la VAM, utilizándose cualquiera de los protocolos establecidos para la determinación del VO_2 máx. mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Sin embargo, dependiendo del protocolo, la VAM difiere significativamente sobre todo como consecuencia del grado de precisión establecido en su determinación. Por definición, la VAM debe considerar la mínima velocidad en que el deportista alcanza el VO_2 máx., (véase la figura 4.20). Este criterio no se puede seguir en un elevado porcentaje de pruebas porque no se observa una meseta en el VO_2 máx. y, por tanto, lo que se mide realmente es la máxima velocidad que un deportista es capaz de desarrollar en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Así pues, debemos diferenciar los criterios más apropiados para determinar la VAM en función de si se observa o no una meseta en el VO_2 con el incremento de la intensidad.

Si se observa una **meseta en la relación VO_2 /intensidad**, considerando un aumento del VO_2 inferior a $2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ con el incremento de intensidad, el aspecto más determinante es el nivel de precisión establecido para el cálculo de la VAM. En este caso, el **nivel de precisión** de la VAM coincide con el incremento de intensidad establecido en el protocolo. En el ejemplo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

mostrado en la figura 4.20, el nivel de precisión es $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y la VAM medida sólo puede corresponder a velocidades de 14, 16, 18 ó $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, pero no a velocidades intermedias. Realmente, este nivel de precisión puede ser útil en la valoración de grupos muy heterogéneos, pero carece de significación para determinar el efecto del entrenamiento en deportistas moderadamente entrenados. Obligatoriamente, para que la determinación de la VAM sea útil, el aumento de la intensidad debe ser de la menor magnitud posible. Sin embargo, un incremento de la intensidad de poca magnitud puede comprometer, debido a la duración del protocolo, el que el deportista desarrolle el VO_2 máx. Así, se precisa un protocolo que combine incrementos de intensidad de poca magnitud con una duración del esfuerzo relativamente corta. Con este objetivo, Billat *et al.*, (1994) propusieron para el cálculo de la VAM en tapiz rodante una intensidad inicial de $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (0% de pendiente) con un incremento de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 min hasta que la velocidad se correspondiera con $\sim 80\%$ de la velocidad desarrollada por el deportista en una carrera de 3.000 m, incrementando posteriormente la intensidad $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La propuesta realizada por los autores es interesante, ya que considera incrementos de menor magnitud cuando el deportista esté próximo a la máxima velocidad que provoca su agotamiento, garantizando una menor duración del test con un mayor nivel de precisión. Sin embargo, consideramos que una precisión de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ es insuficiente para la valoración de deportistas de elite. Por ejemplo, en un protocolo de campo de similares características (intensidad inicial $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con incrementos de 2 km cada 3 min hasta los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incremento posterior de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) puede observarse en el trabajo de Thomas *et al.*, (2005) que cuatro de los 5 corredores evaluados presentaron la misma VAM ($20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Realmente, si el evaluador conoce el potencial del deportista, es posible establecer un protocolo de una duración óptima con incrementos de intensidad al final del protocolo de menor intensidad, por ejemplo $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, permitiendo así establecer un nivel de precisión más apropiado para determinar los efectos del entrenamiento y las intensidades de los distintos métodos de entrenamiento.

Si no se observa una meseta en la relación VO_2 /intensidad, determinándose en consecuencia el **pico de VO_2** , debe considerarse VAM la **máxima velocidad desarrollada por el deportista** en la prueba de intensidad

progresiva hasta el esfuerzo máximo (véase la figura 4.58). Debemos considerar que la máxima velocidad desarrollada por un deportista en una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo depende fundamentalmente del VO_2 máx. y de la economía del esfuerzo, pero también parcialmente de la aportación del metabolismo anaeróbico y de la tolerancia al lactato en la parte final del esfuerzo. De hecho, hay autores que, independientemente de que se observe una meseta en la relación VO_2 /intensidad, consideran la máxima velocidad desarrollada en una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo uno de los mejores indicadores para predecir el rendimiento en competiciones de larga duración (Noakes *et al.*, 1990; Morgan *et al.*, 1989). Para estos autores, la máxima velocidad del test tiene lugar cuando el deportista es capaz de mantenerla durante 1 min (intensidad inicial en cinta ergométrica de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con un aumento de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 1 min). Si el deportista no es capaz de mantener la última velocidad durante 1 min, se considera máxima la velocidad anterior. Desde esta perspectiva, la velocidad máxima del test coincide con la VAM cuando no se observa una meseta en la relación VO_2 /intensidad, pero es diferente cuando se observa una meseta en la relación VO_2 /intensidad, pudiendo en consecuencia determinar dos velocidades distintas. Así, en el ejemplo de la figura 4.20, la VAM es $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, y la máxima velocidad del test, $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Sin embargo, ambas velocidades son idénticas en los ejemplos de la figura 4.58. Es interesante señalar que en la mayoría de las pruebas de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo el deportista no es capaz de mantener la velocidad máxima durante el tiempo que dura el estadio. Si consideramos que la VAM o la velocidad máxima del test es la máxima velocidad que el deportista ha podido mantener durante el tiempo establecido para cada intensidad (p. ej., 3 min), estamos valorando exactamente igual a un deportista que ha mantenido la velocidad máxima durante 50 seg que a otro deportista que la ha mantenido durante 2 min y 30 seg. Lógicamente, el margen de error es menor cuanto menor es la duración establecida para cada intensidad. Por ello, algunos autores, de forma equivalente a lo propuesto por Noakes *et al.*, (1990), pero con mayor nivel de precisión, han propuesto como medida predictora del rendimiento el tiempo de esfuerzo realizado por los deportistas en un prueba hasta el agotamiento (Legaz-Arrese *et al.*, 2006). Actualmente, la mayoría de los estudios, para las pruebas en las que no se observa una meseta en la relación VO_2 /intensidad,

controlan las **diferencias de tiempo entre deportistas en la última velocidad** para el cálculo de la VAM o la velocidad máxima desarrollada en el test. Para ello, lo común es **aplicar la ecuación** establecida por Kuipers *et al.*, en 1985: $VAM = v + a(n/b)$, donde v es la velocidad del último estadio completado ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), a es el incremento de intensidad entre el último estadio completado y el estadio que provoca el agotamiento ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), n es el tiempo que el deportista ha aguantado el estadio incompleto (seg) y b es la duración establecida para el último estadio. Así, para un protocolo en cinta ergométrica con un incremento de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 min, dos deportistas que hayan llegado al agotamiento a la misma velocidad (p. ej., $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) pero con diferencias en el tiempo que han conseguido mantenerla (p. ej., 50 seg vs. 2 min y 30 seg) tendrán una VAM diferente: sujeto “A” = $20 + 2(50/180) = 20,56 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; sujeto “B” = $20 + 2(150/180) = 21,67 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Idéntico planteamiento se efectúa para pruebas realizadas en otros ergómetros. Por ejemplo, se ha establecido didácticamente una WAM de 420 W en el sujeto “A” representado en la figura 4.58. En realidad, este deportista únicamente permaneció 116 de los 180 seg previstos como duración del estadio. Así, el último estadio completado fue a una intensidad de 390 W. Por ello en realidad su WAM es ligeramente inferior = $390 + 30 (116/180) = 409 \text{ W}$.

Aun utilizando la ecuación de Kuipers *et al.*, (1985) para determinar la VAM en las pruebas en las que no se observa una meseta en la relación $\text{VO}_2/\text{intensidad}$, el **nivel de precisión** siempre será mayor si se aplican, como se ha indicado anteriormente, protocolos con incrementos de intensidad de poca magnitud en los últimos estadios. Además, esto permite simultáneamente que haya menos diferencias en los criterios establecidos para determinar la VAM entre los sujetos que muestran o no una meseta en la relación $\text{VO}_2/\text{intensidad}$. Realmente, considerando que el esfuerzo ha sido máximo, la VAM determinada en los sujetos sin meseta en la relación $\text{VO}_2/\text{intensidad}$ probablemente se sobreestima al intervenir el metabolismo anaeróbico en la parte final de la prueba, aspecto que no se considera en el cálculo de la VAM en los sujetos que muestran una meseta en la relación $\text{VO}_2/\text{intensidad}$. Esta posible sobreestimación únicamente será en cinta ergométrica de $\sim 0,2\text{-}0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ si se utilizan aumentos de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, pudiendo ser incluso superior a $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ si se utilizan aumentos de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Así, para un protocolo con un incremento de intensidad en los últimos

estadios de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto, dos sujetos que hayan desarrollado la misma velocidad final (p. ej., $18,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) manteniéndola el mismo tiempo (p. ej., 40 seg), con la diferencia de que un sujeto no presente una meseta en la relación VO_2 /intensidad y otro sujeto haya alcanzado el VO_2 máx. a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, difieren en la VAM en $0,33 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($18,33$ vs. $18,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Para un protocolo con incremento de la intensidad de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 min, si consideramos que ambos sujetos han mantenido 115 seg una velocidad de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, la diferencia en la VAM es considerablemente mayor, $1,28 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($19,28$ vs. $18,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Algunos estudios recientes ya establecen incrementos de la intensidad de poca magnitud para determinar la VAM. Con nadadores, Fernandes *et al.*, (2008) establecieron un protocolo de campo con un incremento de $0,05 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ cada 200 m. Con corredores, Marles *et al.*, (2007) establecieron un protocolo de campo con incrementos de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto.

Uae y Uan

La **determinación del Uae y Uan** es objeto de debate en las últimas décadas. Prueba de ello son las 37 técnicas invasivas y no invasivas recopiladas por Tokmakidis para identificar el Uan (Bosquet *et al.*, 2002). Aunque la mayoría de estas técnicas se basan en cambios de la **concentración de ácido láctico**, también es común su determinación mediante la relación entre la intensidad y la FC y los **parámetros ventilatorios**. Como en todos los índices biológicos, independientemente del método utilizado para su determinación, las **unidades para describir el Uae y el Uan** son importantes. Los valores expresados en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ o en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ son dependientes, respectivamente, de la eficiencia mecánica, por ejemplo del nivel de la VAM y del nivel del VO_2 máx. Ciertamente, cuanto más elevado es el VO_2 máx., más elevados son habitualmente el Uae y el Uan expresado en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, y cuanto más elevada es la VAM, más elevado es el Uae y el Uan expresado en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. En este sentido, un Uae o un Uan a mayor velocidad son lógicamente indicativos de su mejora, pero no hemos comprobado si esta mejora se debe a un incremento de los valores a nivel máximo y/o a una mejora de los valores a nivel submáximo. Por este motivo, para que el Uae y el Uan sean un reflejo por sí mismos de la capacidad de resistencia de un deportista es necesario

expresarlos como %VO₂ máx. o %VAM.

Determinación del Uae y el Uan a partir de cambios ventilatorios

La **determinación del Uan ventilatorio** fue propuesta inicialmente en 1964 por Wasserman y Mcilroy a partir del comportamiento de la ventilación durante el esfuerzo de intensidad progresiva. La base fisiológica es la ruptura de la linealidad entre la ventilación y la intensidad basándose en la suposición de que los iones H⁺ del ácido láctico son amortiguados por el bicarbonato sanguíneo, produciendo un excedente de CO₂ que, a su vez, incrementa la ventilación. Según esta teoría, el incremento inicial de ácido láctico coincide con el principio de **hiperventilación** inducida por un esfuerzo de intensidad progresiva. El exceso de CO₂ en la sangre provoca variaciones de la respuesta respiratoria que cabe identificar mediante el comportamiento de las distintas variables del **Uae** y el **Uan ventilatorio** según el **modelo trifásico** propuesto por Skinner y McLellan (1980) (tabla 4.52). El comienzo de las fases 2 y 3 se asocia, respectivamente, con el Uae y el Uan ventilatorio (VT1 y VT2).

TABLA 4.52. Evolución de las variables respiratorias según el modelo trifásico de determinación de los umbrales ventilatorios

	<i>FASE 1</i>	<i>FASE 2</i>	<i>FASE 3</i>
$\dot{V}O_2$	↑	↑	↑
$\dot{V}CO_2$	↑	↑↑	↑↑↑
VE	↑	↑↑	↑↑↑
PET O_2	↓	↑	↑
FEO $_2$	↓	↑	↑
EQO $_2$	↓	↑	↑
PETCO $_2$	↑	~	↓
FECO $_2$	↑	~	↓
EQCO $_2$	↓	~	↑

Véanse las abreviaturas en el texto, página 568.

Elaborado a partir de información de Terreros JL y Navas F.
 Valoración funcional: aplicaciones al entrenamiento deportivo.
Gymnos, 2003.

Para la **identificación del VT1**, Beaver *et al.*, (1986) establecieron un modelo matemático, conocido como el método de la “V-Slope”, a partir de la ruptura de la linealidad entre el VO_2 y VCO_2 . Sin embargo, la experiencia práctica muestra que la identificación automática del VT1 tiene un elevado porcentaje de fallos. La **determinación del VT2** es todavía más subjetiva, y frecuentemente es imposible su identificación clara, recomendándose el estudio de las gráficas por varios expertos (Terreros y Navas, 2003; Bosquet *et al.*, 2002).

Además, la identificación de los umbrales ventilatorios requiere un análisis de los gases en cada respiración y un **protocolo** específico asociado a una intensidad inicial muy baja, a incrementos de intensidad pequeños cada poco tiempo o incluso a incrementos de carga continuos en el tiempo. Por ejemplo, en cinta ergométrica una carga inicial de 6 a 8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ con cargas de 1 min y aumento de carga de 1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, y en ciclo o remoergómetro una carga inicial de 15 a 45 W con incremento de 15 a 30 W cada minuto (Terreros y Navas, 2003).

A pesar de estas limitaciones, la determinación de los umbrales ventilatorios por expertos cualificados es un método aceptado en la literatura científica. Prueba de ello son los numerosos estudios que mediante la identificación de la FC asociada al VT1 y VT2 determinan el porcentaje de tiempo en distintas zonas metabólicas en ciclismo de ruta (Lucía *et al.*, 2003, 1999; Rodríguez-Marroyo *et al.*, 2003; Fernández-García *et al.*, 2000).

Con el fin de prescribir las **intensidades para el entrenamiento**, el VT1 se asocia habitualmente a una intensidad de esfuerzo excesivamente baja para deportistas de resistencia, siendo recomendable los cálculos mediante las variables fisiológicas o mecánicas asociadas al VT2 (Terreros y Navas, 2003). En relación con los métodos más habituales que identifican el Uan mediante la concentración de lactato, el VT2 se identifican habitualmente a una intensidad ligeramente inferior al OBLA y superior al IAT.

Determinación del Uae y Uan a partir de cambios en la concentración de lactato

El método original de determinación del Uan consiste en establecer la intensidad en la que el lactato en sangre aumenta de forma significativa, identificando el **umbral de lactato** (LT) en la carga anterior al aumento

significativo de lactacidemia. Como se observa en la figura 4.29, la concentración de lactato a intensidad del LT es muy baja, habitualmente inferior a $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, lo que probablemente está asociado a una infravaloración de la intensidad que un deportista puede mantener durante un largo período de tiempo. Numerosos autores introducen **modificaciones en el cálculo del LT** a partir de la identificación de la intensidad que causa un incremento fijo de lactato con un intervalo de $0,2$ a $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Terreros y Navas, 2003). Estos métodos resaltan que la identificación del LT es **subjetiva e imprecisa**, y además, desde la perspectiva de prescripción del entrenamiento, el Ue únicamente identifica una carga asociada a una intensidad relativamente baja. Además, la identificación del LT en la relación intensidad/lactato es difícil de establecer si consideramos que su evolución durante el esfuerzo de intensidad progresiva se aproxima en mayor medida a una curva continua de tipo exponencial que a un punto de ruptura.

En 1976, el equipo de trabajo de Mader presentó en un congreso la identificación del Uan a una **concentración fija de lactato de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$** (OBLA), método publicado posteriormente por distintos autores (Heck *et al.*, 1985; Sjödín y Jacobs, 1981). Estos autores descartan el incremento brusco del lactato, estableciendo que la relación intensidad/lactato es exponencial con una acentuación a partir de una concentración de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, comprobando experimentalmente que a esta intensidad es posible mantener un esfuerzo durante un período de tiempo relativamente largo, que disminuye significativamente a una intensidad asociada a una concentración de lactato superior. De forma equivalente a lo indicado para los umbrales ventilatorios, Kindermann *et al.*, (1979) establecieron un **modelo trifásico** para determinar el Uae y Uan, respectivamente, a una **concentración fija de lactato de 2 y $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$** (véase la figura 4.41). Actualmente, tal y como se ha descrito con varios ejemplos en este capítulo, se sabe que el OBLA sobreestima, especialmente en los deportistas de elite, el Uan asociado a un estado estable en la concentración de lactato, y que esta intensidad se asocia a una **elevada variación individual** de la concentración de lactato. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones con clara evidencia científica, los modelos fijos de concentración de lactato son un **método objetivo** de determinar el Uae y el Uan, y a efectos didácticos y prácticos, este método es probablemente el más apropiado para identificar mediante ecuación exponencial los **intervalos de intensidad asociados a las distintas zonas metabólicas**, tal y como se ha

representado en numerosos ejemplos de este capítulo.

Actualmente es habitual también la identificación de la intensidad de entrenamiento correspondiente a las distintas concentraciones fijas de lactato mediante **pruebas de campo** de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Por ejemplo, en el Centro de Medicina del Deporte del Gobierno de Aragón se aplica un protocolo de 4 intensidades con una duración de 2 min y 30 seg a 4 min, realizando la última carga a la máxima velocidad de desplazamiento y descansando 1 min entre intensidades para determinar la concentración de lactato, pudiendo determinar simultáneamente la FC y el VO_2 (figura 4.126). En atletismo, las tres primeras cargas están asociadas a recorrer a intensidad progresiva, respectivamente, una distancia de 500-800 m, 600-900 m y 700-1.000 m, y la última carga, una distancia de 900-1.100 m a máxima velocidad. La distancia y la intensidad son variables en función del sexo, la edad y el nivel de los deportistas. Las distancias también varían en función de la modalidad deportiva (p. ej., 900-1.800 m en esquí de fondo, 300-600 m en piragüismo y 200-250 m en natación). En ciclismo se recorre una distancia entre 1,5 y 3,5 km a una intensidad progresiva marcada por la FC (p. ej., 140, 160, 175 y máxima) o la potencia.

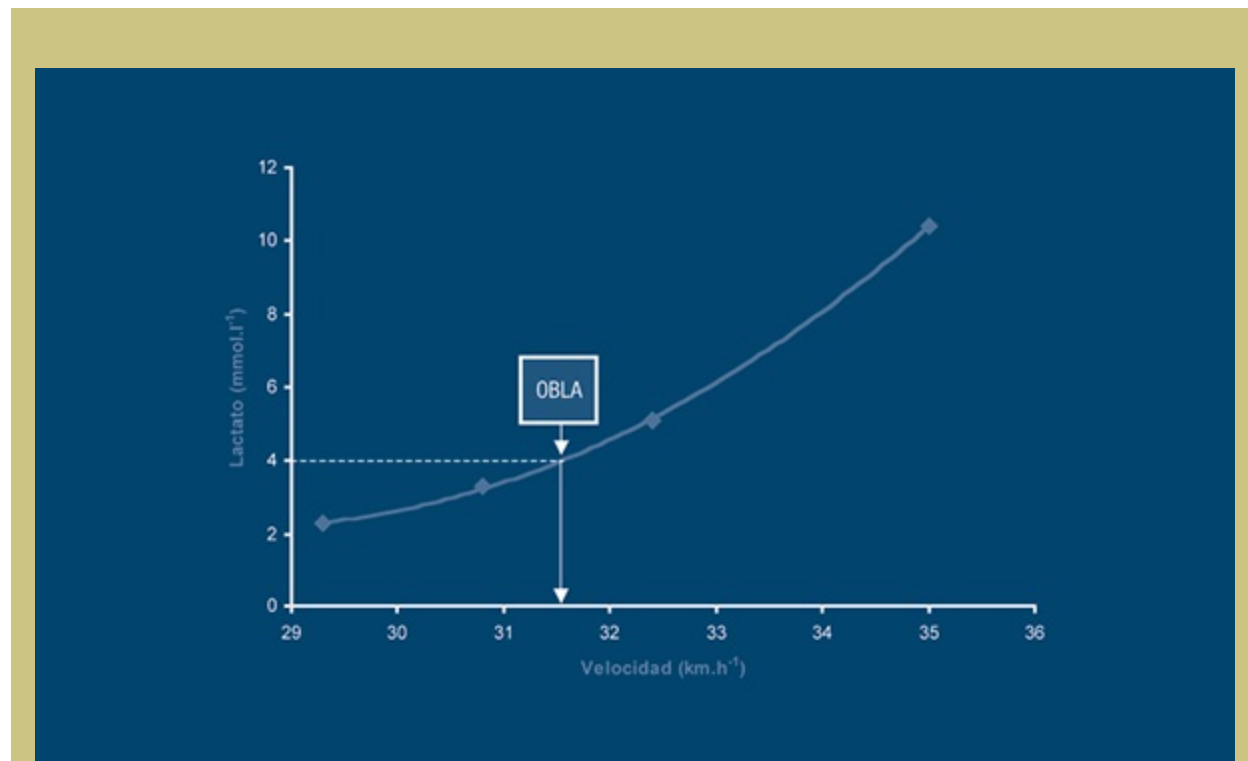


FIGURA 4.126. Identificación de la VOBLA en una prueba de campo de intensidad

progresiva hasta el agotamiento en una deportista de elite de patinaje sobre ruedas.

En una prueba de campo de estas características se observa un incremento proporcional de intensidad en las tres primeras cargas, siendo la intensidad desarrollada en la última carga dependiente de la máxima que puede desarrollar el deportista para la duración del esfuerzo.

Adaptado de Terreros JL y Navas F. Valoración funcional. Gymnos, 2003.

Además del método originario de determinación del umbral de lactato (LT), otros investigadores han establecido diferentes métodos para identificar el **umbral anaeróbico individual** (IAT) de cada deportista. Entre ellos destacan los trabajos de Keul *et al.*, (1979) y de Simon *et al.*, (1981), quienes, respectivamente, identifican el IAT como el punto de la tangente de la curva de lactato/intensidad correspondiente a un ángulo de 45° y 51°. A este respecto, además de la cuestionable inflexión del lactato en un ángulo determinado, dependiendo de las unidades utilizadas y de la magnitud relativa de las escalas en el eje de las X y de la Y, el punto de la tangente en un ángulo concreto puede conducir a un valor diferente de IAT, cuestionando así este tipo de acercamiento. El **modelo propuesto por Stegmann *et al.*** (1981) es probablemente el más aceptado para determinar el IAT. Los autores parten de la hipótesis de que en la curva lactato/intensidad existe un punto en el que la tasa de eliminación del lactato de la sangre es máxima y a partir de esa intensidad se estabilizará, mientras que la tasa de entrada de lactato desde el músculo a la sangre no cesará de aumentar. Sobre esta hipótesis, y admitiendo que en cargas mantenidas durante relativamente poco tiempo (p. ej., 3 min) se alcanza un estado estable de lactato relativo a cada nivel de intensidad, el nivel de lactato en sangre al final de cada intensidad representará el equilibrio entre la tasa de producción y de eliminación. En ese sentido, estos autores consideran que es la tasa de eliminación la que, al llegar a su valor máximo, induce un desequilibrio respecto a la producción de lactato que continúa creciendo, identificando el IAT en el punto de máxima tasa de eliminación. Considerando esta misma dinámica para la cinética del lactato en el período de recuperación después de la prueba de intensidad progresiva, se identifica inicialmente una tasa de difusión máxima que disminuye progresivamente hasta que se equilibra nuevamente con la tasa de eliminación, punto que coincide con el valor máximo de lactato obtenido al finalizar la prueba de esfuerzo. Así, el IAT se determina inicialmente trazando una línea paralela al eje de abcisas que corte la curva de lactacidemia durante la recuperación en el nivel correspondiente a la

lactacidemia alcanzada al finalizar el esfuerzo. Una tangente desde este punto de la curva de lactato durante la recuperación hacia la curva de lactato durante el esfuerzo identifica el momento de la máxima tasa de eliminación, definiendo el IAT (figura 4.127). Las dos principales teorías sobre las que se basa la identificación del IAT mediante este método, que la concentración de lactato al final de cada intensidad represente la situación metabólica real y que la tasa de recuperación del lactato se mantenga durante los primeros minutos de recuperación, son actualmente **objeto de crítica** por numerosos autores. De hecho, en un reciente análisis realizado a corredores aficionados de maratón no hemos podido identificar con claridad el IAT en algunos sujetos debido a la cinética del lactato en el período de recuperación (Serrano-Ostáriz *et al.*, 2009). En este grupo de deportistas se identificó el IAT a una concentración de lactato promedio de $3,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, con un intervalo de $1,6$ a $5,8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Estos deportistas pudieron mantener con relativa comodidad un esfuerzo de 3 h a la FC correspondiente al 95% de la FC del IAT, lo que presupone, tal y como establecen algunos autores, que el IAT infravalora el Uan asociado a la intensidad correspondiente al máximo estado estable. En este sentido, realizar entrenamientos a la intensidad correspondiente al IAT se puede considerar que desarrolla exclusivamente la eficiencia aeróbica, siendo más aplicable para identificar el entrenamiento orientado a la salud que el orientado al rendimiento deportivo.

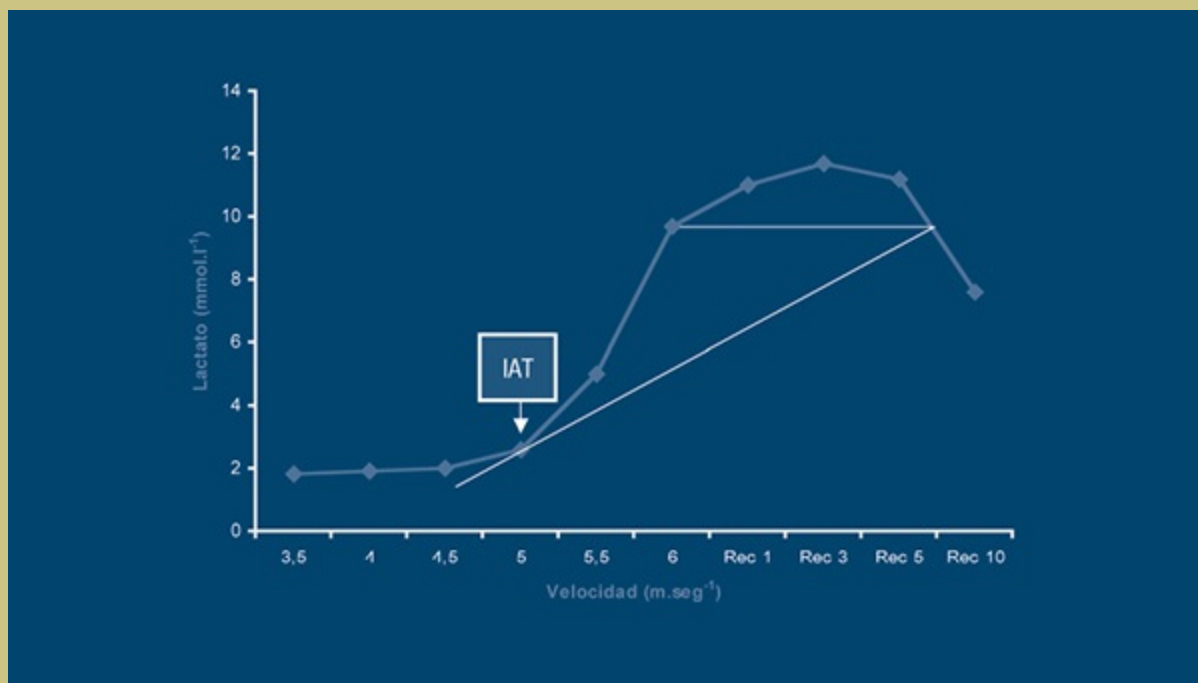


FIGURA 4.127. Identificación del IAT mediante el modelo basado en la cinética del lactato en el pe-ríodo de recuperación. En primer lugar, la identificación del IAT requiere determinar la concentración de lactato en el período de recuperación de una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo. Inicialmente se requiere trazar una línea paralela que haga coincidir los niveles de lactato correspondientes a la finalización del esfuerzo con los niveles de lactato durante la recuperación. Desde ese punto, la línea que determina la tangente con la curva de lactato durante el esfuerzo permite establecer el IAT.

Adaptado de Stegmann H et al. Int J Sports Med 1981;2:160-5.

Determinación del Uan a partir de la FC

Aunque tradicionalmente se ha establecido una relación lineal entre la FC y la intensidad del esfuerzo, Wyndham *et al.*, (1959) identificaron un punto de inflexión (figura 4.128). A partir de estos antecedentes, Conconi *et al.*, (1982) observaron que el punto en el que la relación entre la FC y la intensidad de esfuerzo se desvía de la linealidad (punto de deflexión) se asocia con la intensidad en la que se observa un incremento exponencial de lactato, estableciendo el Uan a partir de la **relación FC/intensidad**. El punto de deflexión de la FC se atribuye a una progresiva intervención del metabolismo anaeróbico que va haciendo innecesario aumentar el gasto cardíaco y, por tanto, la FC. Para identificar el punto de deflexión de la FC, los autores

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

establecieron inicialmente un protocolo de campo conocido como el **test de Conconi**. Para la carrera a pie, el protocolo original implica el recorrido a intensidad creciente de una distancia de 200 m hasta el agotamiento voluntario, comenzando a una intensidad de 6 a 10 km·h⁻¹ con incrementos de 0,5 km·h⁻¹. Como en otros tests de campo, la intensidad puede establecerse mediante marcapasos grabados en cinta magnetofónica o mediante una bicicleta con velocímetro. Los propios autores adaptaron este protocolo para otras modalidades deportivas como marcha, natación, remo, piragüismo, esquí de fondo, ciclismo y patinaje. Aunque el test de Conconi es usado por algunos atletas y entrenadores, existe una crítica considerable del método original en la literatura científica (Jones y Doust, 1997; Thorland *et al.*, 1994; Tokmakidis y Léger, 1992). La principal crítica concierne al propio concepto del punto de deflexión, debido a que varios estudios han fracasado en detectarlo sistemáticamente en todos los sujetos, tanto en corredores como en ciclistas. Ciertos de autores, por consiguiente, han cuestionado la existencia fisiológica del punto de deflexión y han sugerido que es totalmente artificial y dependiente del protocolo. En otros estudios se destaca que para el mismo protocolo únicamente es posible identificar el punto de deflexión de la FC en algunos deportistas (Lucía *et al.*, 2002b). El protocolo original de Conconi también se ha criticado porque, al incrementar la intensidad sobre una distancia fija, disminuye progresivamente el tiempo del esfuerzo y, como consecuencia, cada vez hay menos tiempo para una adaptación de la FC, pudiendo falsear los valores reales correspondientes a cada intensidad. A partir de las críticas, los propios autores, Conconi *et al.*, (1996), han modificado su metodología adoptando un test incremental basado en un protocolo de tiempo fijo en lugar de distancia fija. Así, por ejemplo, en protocolos de laboratorio se establece un incremento de intensidad de 15 W o de 0,5 km·h⁻¹ cada 45 seg. A este respecto, los estudios de Jones y Doust (1997) y de Bourgois y Vrijen (1998) son particularmente interesantes porque respetan escrupulosamente el original y el modificado protocolo de Conconi. Ambos estudios concluyeron que este test **no es válido para la determinación no invasiva del Uan**, dado que, aunque encontraron el punto de deflexión, la velocidad y la potencia asociadas con el punto de deflexión sobreestiman la velocidad y la potencia asociadas con el punto de ruptura del lactato en un 13% y un 28%, respectivamente.

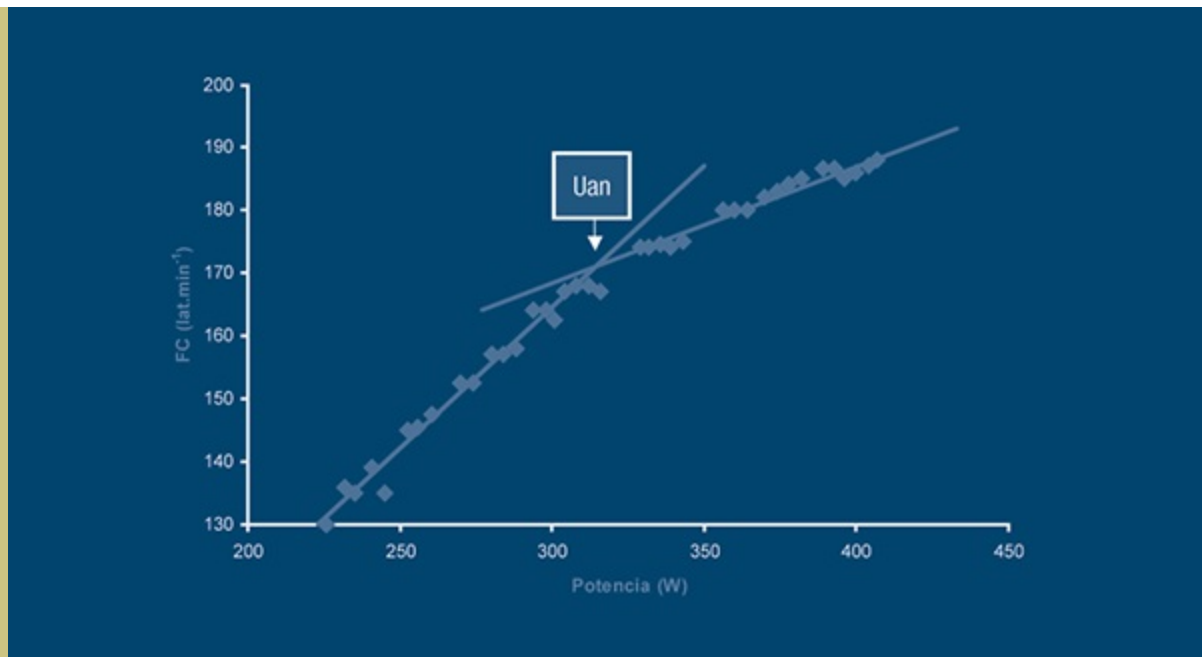


FIGURA 4.128. Identificación del Uan en ciclistas de elite mediante el punto de deflexión en la relación FC/intensidad. Compruébese la identificación del Uan cuando la FC pierde la linealidad con la intensidad del esfuerzo.

Adaptado de Lucia A et al. Br J Sports Med 2002;36:113-7.

Economía del esfuerzo

La economía del esfuerzo es un indicador de la eficiencia del deportista a una determinada intensidad en una acción motriz específica que se identifica como la relación porcentual entre el trabajo realizado y la energía utilizada. El trabajo realizado puede expresarse como equivalente calórico considerando que $247 \text{ kgm} \cdot \text{min}^{-1}$ equivalen a 1 caloría y que 5 calorías equivalen a 1 litro de O_2 cuando el cociente respiratorio es igual a 1. De esta forma, se ha establecido la eficiencia en los desplazamientos asociados a distintas acciones motrices, correr (20-35%), pedalear (24-34%), remar (13-17%), nadar (3-10%) (Terreros y Navas, 2003). En este sentido, en esfuerzos que precisan una intensidad inferior a la asociada al VO_2 máx., el VO_2 requerido a una determinada intensidad puede considerarse un indicador equivalente al cálculo de la eficiencia debido a que la relación entre la intensidad y el VO_2 es lineal. Independientemente del método de cálculo, como se ha representado repetidamente en este capítulo, la **valoración de la**

economía del esfuerzo de un deportista puede establecerse a distintas intensidades de carga con los **valores del $\dot{V}O_2$** obtenidos en una prueba de esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Aunque este método es tradicionalmente aceptado como indicador de la economía del esfuerzo, hay que considerar dos importantes **limitaciones**. La primera limitación se asocia a que estos indicadores de eficiencia obvian la participación del metabolismo anaeróbico, pudiendo falsear la interpretación real de los resultados tal y como hemos especificado previamente en las figuras 4.56 y 4.57. A este respecto, para una intensidad superior al U_{an} es necesaria la observación de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad y lactato/intensidad. La segunda limitación es que este método presupone que una duración del esfuerzo de 3-4 min es suficiente para conocer el estado estable del $\dot{V}O_2$ asociada a una determinada intensidad. Como se representa en la figura 4.129, esta hipótesis únicamente es cierta para una intensidad del esfuerzo relativamente baja. Además, incluso a una intensidad baja, como se especifica con detalle posteriormente, se sabe que hay una variación importante asociada a la duración del esfuerzo en los principales parámetros fisiológicos.

Un aspecto de debate es la **expresión de los valores del $\dot{V}O_2$** . Algunas investigaciones, incluidos estudios con animales y también más recientemente con seres humanos, consideran la expresión submáxima y máxima de O_2 en desplazamientos como la carrera en $ml \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}$ en vez de $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Svedenhag, 1995). La relación entre el $\dot{V}O_2$ y la masa corporal (m_b) ha sido dada por la ecuación alométrica: $\dot{V}O_2 = a \cdot m_b^b$, donde a es el coeficiente de la masa y b es el exponente de reducción. Bergh *et al.*, (1991) establecieron la relación entre la masa corporal y la captación de O_2 por medio de derivar el exponente b en la ecuación indicada; entonces, si $b = 1$, la captación de O_2 se incrementa en proporción a la masa corporal y la captación de O_2 por kg es independiente de la masa corporal; si $b < 1$, entonces la captación de O_2 por kg está inversamente relacionada con la masa corporal. Los autores encontraron que el exponente b fue menor que una unidad para todos los grupos que analizaron la intensidad submáxima ($b = 0,76$) y máxima ($b = 0,71$), lo que indica que el $\dot{V}O_2$ aumenta en proporción a la masa corporal durante la carrera. Estos resultados demuestran que dividir el $\dot{V}O_2$ por la masa corporal puede inducir a interpretaciones erróneas cuando

se compara en individuos o grupos cuya masa corporal difieren. A pesar de la evidencia de que en pruebas como las carreras de atletismo es mejor expresar el $\dot{V}O_2$ en términos de la unidad $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{min}^{-1}$, en la mayoría de los informes técnicos y en la literatura científica sigue siendo común su expresión en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

La **relación FC/intensidad** y el **cociente respiratorio**, como criterio de la proporción de utilización de los distintos sustratos energéticos, también se pueden considerar como indicadores de economía del esfuerzo, siendo además sensibles a las variaciones de rendimiento en grupos homogéneos que compiten en pruebas de media y larga duración (Legaz-Arrese *et al.*, 2009a, 2006).

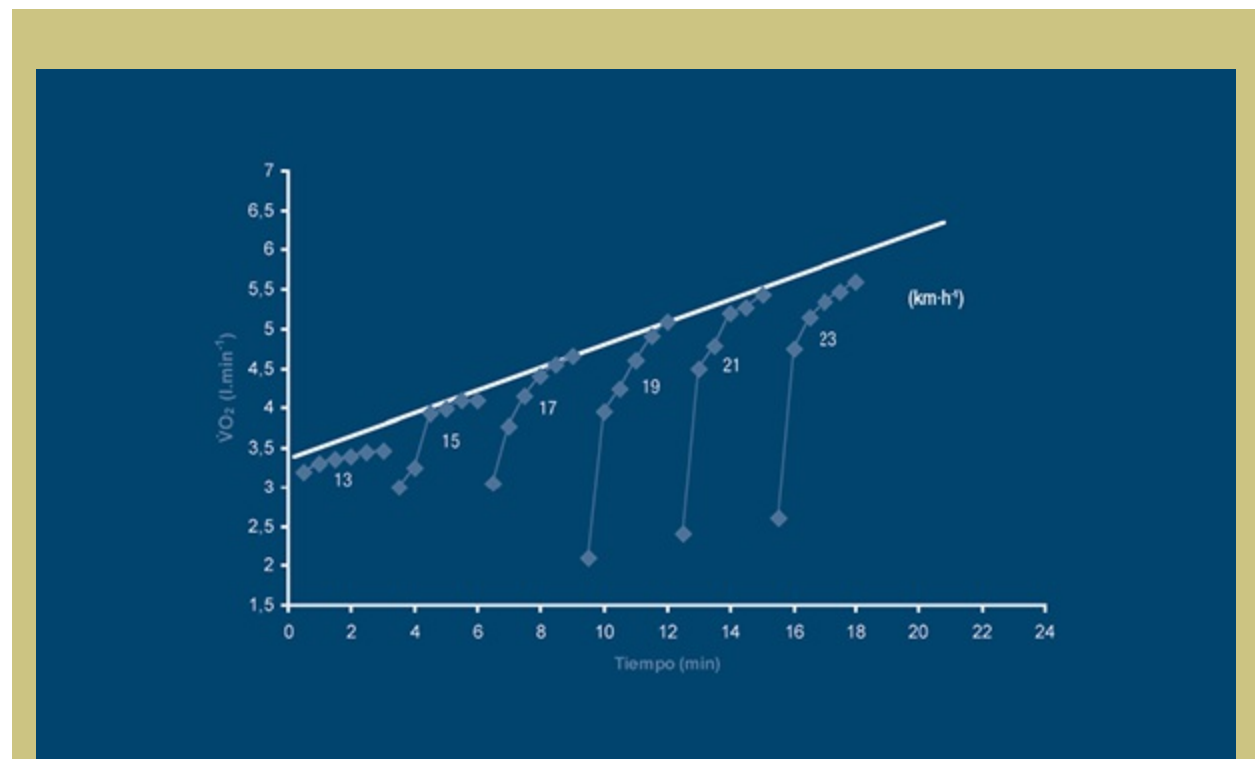


FIGURA 4.129. Adaptación del $\dot{V}O_2$ de un corredor en una prueba de esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento. La duración del esfuerzo habitualmente utilizada para cada intensidad durante la ejecución de una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento no permite establecer un estado estable del $\dot{V}O_2$, especialmente para las intensidades más elevadas.

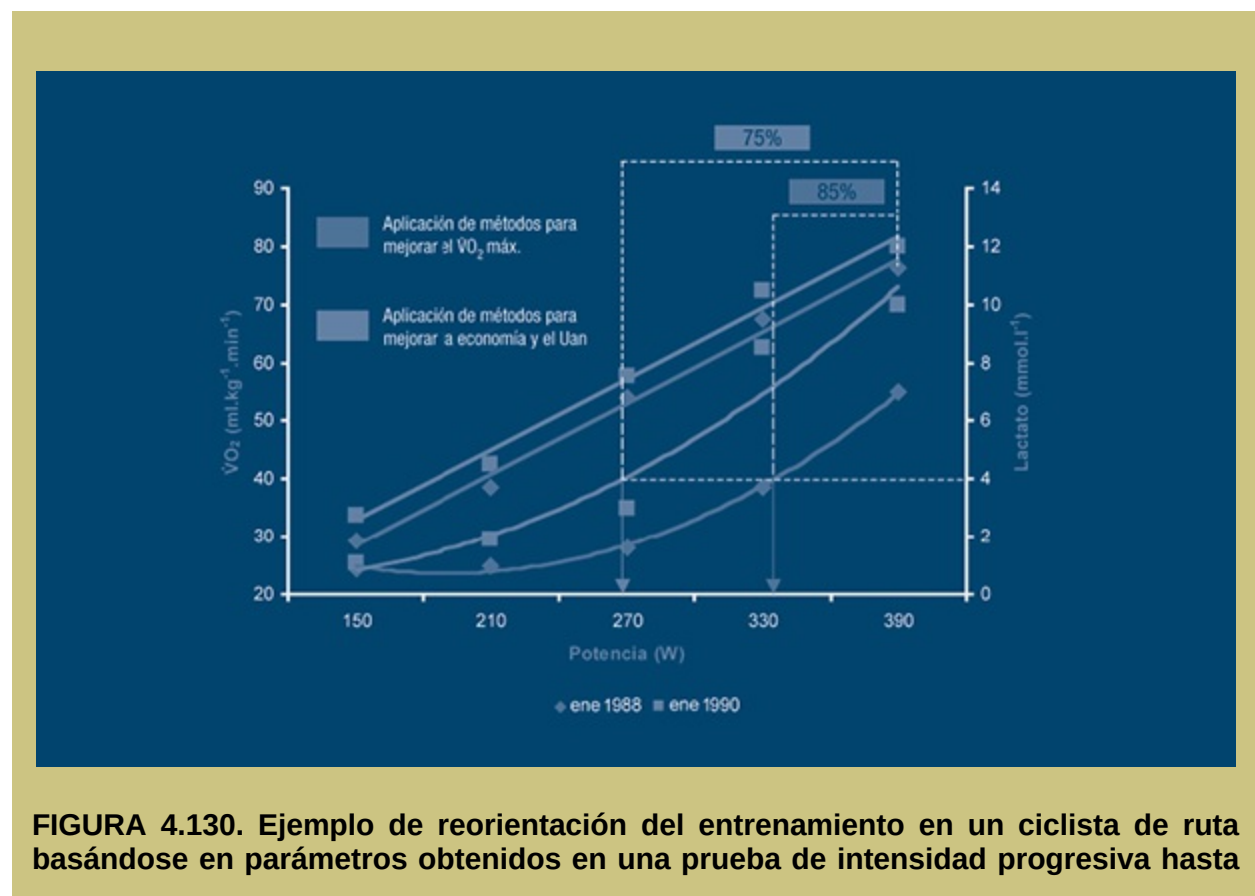
Adaptado de Terreros JL y Navas F. Valoración funcional. Gymnos, 2003.

Aplicaciones prácticas y limitaciones

A efectos prácticos, la ejecución de una **prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento** es un requisito básico para conocer la **respuesta fisiológica saludable** de un deportista. Desde la perspectiva del entrenamiento, únicamente mediante esta prueba es posible conocer el **VO₂ máx.** y la **VAM**, constituyendo lógicamente un requisito previo para la valoración del Tlím a VAM. Además, la identificación adicional en una única prueba del Uae y el Uan permite establecer simultáneamente las distintas **zonas metabólicas de prescripción del entrenamiento** y, como se representa en la figura 4.130, **reorientar el entrenamiento** estableciendo de forma individual la intensidad óptima de trabajo en función de la comparación de los valores del deportista con sus resultados en pruebas anteriores o en relación con los valores normativos de uno o varios deportistas. En este sentido, se sabe además que, independientemente de la metodología utilizada en la identificación del Uan, su valoración en una prueba de estas características es **sensible a la adaptación del deportista** y habitualmente permite **predecir el rendimiento**, explicando un elevado porcentaje de su variabilidad en pruebas de media y larga duración en grupos relativamente homogéneos (Legaz-Arrese, 2000).

A pesar de las evidentes aplicaciones prácticas de una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento, es necesario que el entrenador conozca, para la prescripción de la intensidad y duración de los métodos de entrenamiento, las **limitaciones de los resultados obtenidos a intensidades submáximas**. A este respecto, un claro ejemplo puede deducirse de la comparación con el mismo protocolo (incremento de 2 km·h⁻¹ cada 3 min) de los resultados obtenidos por corredores de maratón (n = 10, rendimiento promedio 2:12:05) y de 3.000 m obstáculos (n = 8, rendimiento promedio 8:37.83) (Legaz-Arrese, 2000) (figura 4.131). La principal diferencia entre ambos grupos fue que los corredores de 3.000 m obstáculos finalizaron la prueba de esfuerzo a mayor velocidad, probablemente como consecuencia de un mayor desarrollo del metabolismo anaeróbico. Lo más relevante de esta comparación es la similitud entre ambos grupos en la relación intensidad/VO₂ y lactato/intensidad, no encontrándose diferencias significativas para ninguna de las variables. En este sentido, hay que considerar que a 20 km·h⁻¹, la intensidad más próxima a la velocidad de competición de los maratonianos, el VO₂ fue equivalente en ambos grupos y únicamente se observó una ligera

menor concentración de lactato en los maratonianos ($4,14$ vs. $4,55 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Si consideramos cualquier punto de la curva de lactato, por ejemplo, la VOBLA ($19,65 \pm 1,2$ vs. $19,21 \pm 0,36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente, para los corredores de maratón y de 3.000 m obstáculos) como un indicador indirecto de una situación metabólica estable que puede mantenerse durante un período de tiempo prolongado, los corredores de 3.000 m obstáculos finalizarían una maratón con sólo 3 min de retraso respecto al grupo de maratón, aspecto que puede considerarse imposible. La similitud entre los valores obtenidos por ambos grupos se puede considerar todavía más acusada si consideramos que el rendimiento de los maratonianos es claramente superior según los criterios de puntuación que para cada marca establece la Federación Internacional de Atletismo (1.157 vs. 1.105). Considerando evidente que la velocidad correspondiente al estado estable de lactato debe ser significativamente superior en los corredores de maratón, los datos presentados son representativos de que en una prueba de esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento los valores obtenidos a intensidad submáxima deben interpretarse con prudencia.



*****ebook converter DEMO Watermarks*****

el agotamiento. Compruébese cómo en enero de 1988 el ciclista manifiesta relativamente mejor WUan y economía de esfuerzo y peor VO_2 máx. que en enero de 1990. Reflexiónese sobre el hecho que en 1988 el deportista se beneficiaría en mayor medida de métodos orientados al desarrollo del VO_2 máx. y en 1990 de métodos orientados al desarrollo del Uan y de la economía de esfuerzo.

Original del autor con datos cortesía del Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón.

Debemos considerar que, cuando se establece el VO_2 , la FC y el lactato asociados a las distintas intensidades, los valores obtenidos corresponden a su comportamiento en las condiciones en que se desarrolla el test, que habitualmente difiere notablemente del comportamiento de estas variables a la misma intensidad durante un tiempo prolongado de esfuerzo. Por ejemplo, hemos verificado en corredores aficionados de maratón que la ejecución de esfuerzos de duración progresivamente superior (45, 90% y 180 min) manteniendo la FC correspondiente al 85% y 95% del IAT causa el descenso de la velocidad de desplazamiento cubriendo una menor distancia para el mismo intervalo de tiempo de esfuerzo. Estas diferencias son más evidentes cuanto mayores son la duración y la intensidad de esfuerzo, y difieren entre los distintos deportistas (Serrano-Ostáriz *et al.*, 2009). La variación en la distancia recorrida en función de la duración del esfuerzo a una misma FC se puede deber a diferentes factores, fundamentalmente asociados a la termorregulación y a la economía del esfuerzo en la fatiga.

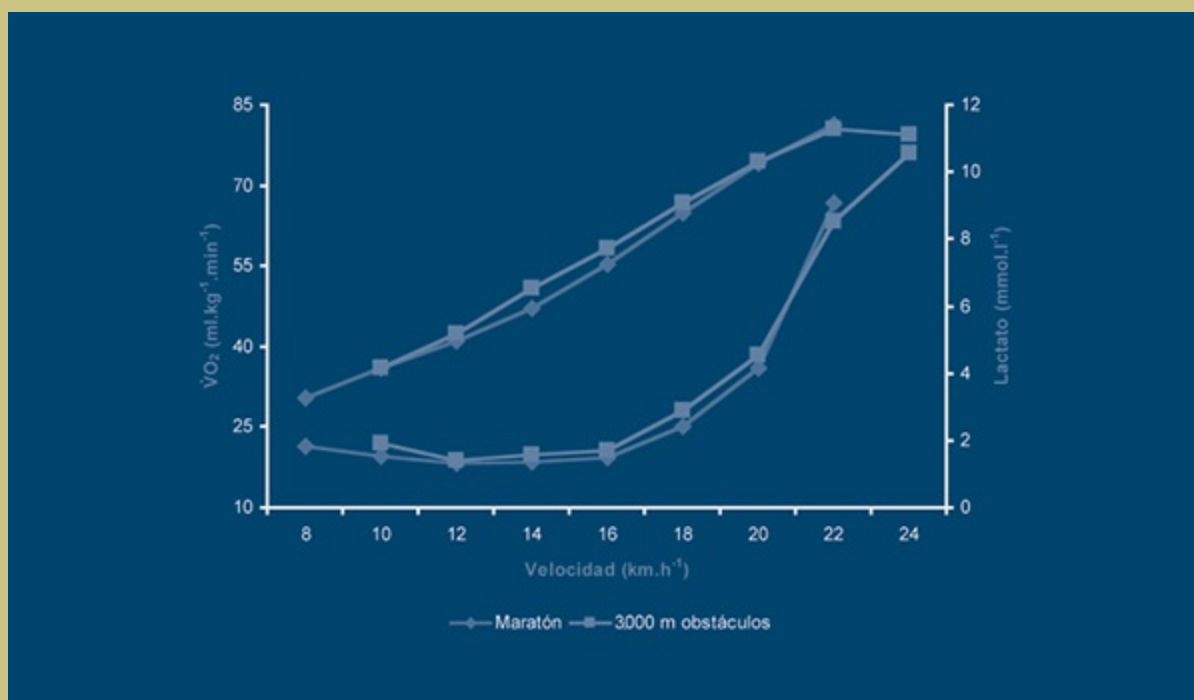


FIGURA 4.131. Comparación del VO₂ y del lactato/intensidad en una prueba de intensidad progre-siva hasta el agotamiento entre corredores de maratón y de 3.000 m obstáculos. El perfil fisiológico determinado mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento es equiparable entre dos grupos de corredores que al menos deberían diferenciarse a intensidades submáximas. Existen limitaciones en una prueba de estas características para determinar la validez de las variables en esfuerzo submáximo.

Adaptado de Legaz-Arrese A. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2000.

Con los resultados mostrados para la FC, es deducible que los valores del VO₂ y del lactato a una determinada intensidad van a estar influidos por la duración y la intensidad del esfuerzo. Respecto a la eficiencia energética asociada al VO₂, hay que considerar que los valores que se obtienen en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento no corresponden a una situación estable (véase la figura 4.129) incluso a una intensidad inferior a la VUan. Además, actualmente se sabe que la eficiencia energética para una misma velocidad puede diferir significativamente en situación pre y posfatiga y entre los distintos deportistas (véanse las figuras 4.141-4.143).

En relación con cualquier planteamiento de establecer la intensidad asociada a una determinada concentración de **lactato** obtenida en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento, es necesario establecer

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

distintas limitaciones. La primera es que, por definición, a una intensidad que es superior al Uan no es posible determinar un estado estable de lactato. En este sentido, la correcta identificación del Uan constituye un requisito indispensable. Además, hay que considerar que para una intensidad relativamente baja, aunque se considera que se obtiene un estado estable de lactato con una duración del esfuerzo próxima a los 3 min, los estudios que han comparado diferentes protocolos muestran importantes cambios en la relación lactato/intensidad. Foxdal *et al.*, (1996) concluyeron que incluso una duración de carga de 4 y 6 min sobreestima la relación lactato/intensidad. Los autores mostraron en un grupo de maratonianos que la VOBLA es significativamente superior cuanto menor es la duración del esfuerzo en cada carga, promedio de 4,95, 4,81, 4,67 m·seg⁻¹, respectivamente, para una duración de la carga de 4, 6 y 8 min. Estos resultados confirman lo establecido previamente por Heck *et al.*, (1985) (figura 4.132). Estos autores también mostraron que, si bien en menor medida, el tiempo de recuperación entre cargas para la toma de lactato influye significativamente en la relación lactato/intensidad.

Una limitación difícil de rebatir, por ejemplo para cualquiera de los métodos de determinación del Uan mediante la concentración de lactato, es que el valor obtenido ni tan siquiera corresponde a un valor real medido, realizándose una extrapolación que difiere en función del método a partir de los valores obtenidos a intensidades concretas. Además, hay que considerar que el aumento de la intensidad es relativamente elevado, por ejemplo 2 km·h⁻¹, lo que todavía acrecienta en mayor medida esta limitación. En este sentido, por ejemplo, en la velocidad crítica en la que en un maratoniano de elite es posible identificar el Uan (19,2 a 19,6 km·h⁻¹), se conoce únicamente la concentración a una intensidad significativamente inferior y superior, por ejemplo a 18 y 20 km·h⁻¹, determinando dos valores de lactato que difieren significativamente del valor real del Uan, que debe ser extrapolado indirectamente. Por ejemplo, en el grupo de maratonianos representados en la figura 4.131 el lactato promedio a 18 y 20 km·h⁻¹ fue respectivamente 2,1 y 4,1 mmol·l⁻¹, lo que implica una variación de 2 mmol·l⁻¹ que no ha sido realmente medida. En casos individuales, la variación entre estas dos intensidades es todavía de un margen mucho más elevado. Este aspecto tiene gran interés si consideramos además que pequeñas variaciones de intensidad pueden estar asociadas a variaciones elevadas de la concentración de lactato.

Por ejemplo, Zoladz *et al.*, (1993) mostraron que en 5 maratonianos el desplazamiento al 97,1% y al 103,6% de la velocidad de competición produjo, respectivamente, una concentración de lactato promedio de 2,3 y 6,9 mmol·l⁻¹. La alta sensibilidad de la concentración de lactato a pequeñas variaciones de intensidad se muestra con detalle después. Globalmente, estos análisis sugieren que en cualquier método de determinación del Uan mediante la concentración de lactato puede haber importantes variaciones. Aparte de estas variaciones asociadas en sí mismo al protocolo establecido, hay que considerar que, mientras debería existir un único valor de Uan, las intensidades computando diversas técnicas descritas establecen para un mismo grupo de deportistas valores dispares comprendidos entre el 79% y el 92% del VO₂ máx. (Tokmakidis *et al.*, 1998). Este elevado margen de variación implica que, mientras no se demuestre que una técnica es más apropiada que otra para identificar el estado estable, el margen de error es elevado y diferencial en función del método utilizado. En este sentido, ninguno de los métodos utilizados en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento voluntario ha identificado el estado estable que un deportista de elite es capaz de mantener durante un largo período de tiempo. A este respecto, por ejemplo, como ya se ha indicado, el IAT subestima el estado estable y el OBLA lo sobreestima. En relación con el OBLA, distintos autores han mostrado que la velocidad desarrollada en una maratón por deportistas de elite es muy inferior a la VOBLA (Legaz-Arrese *et al.*, 2006; Föhrenbach *et al.*, 1987; Sjödín y Svedenhag, 1985; Tanaka y Matsuura, 1984; Sjödín y Jacobs, 1981). Probablemente el VT2 puede aproximarse en mayor medida al estado estable, pero este aspecto no se ha concretado y además su determinación es altamente subjetiva.

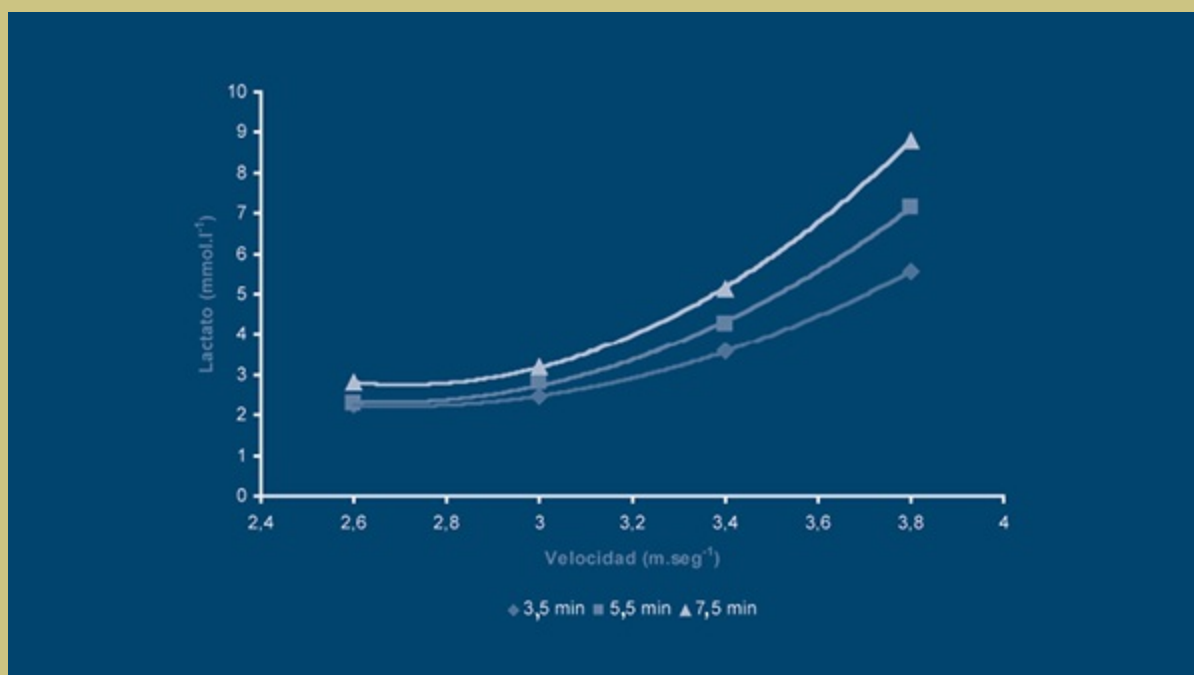


FIGURA 4.132. Influencia de la duración de cada intensidad en una prueba de esfuerzo sobre la relación lactato/intensidad. La duración del esfuerzo en cada intensidad influye significativamente sobre la concentración de lactato, obteniéndose el Uan a mayor velocidad cuanto menor es la duración del esfuerzo.

Adaptado de Heck H et al. Int J Sports Med 1985;6:117-30.

De acuerdo con estos análisis, es posible establecer criterios de referencia asociados al **Tlím a distintas concentraciones de lactato** para orientar al entrenador en la planificación de los métodos de entrenamiento. En atletas de alto nivel, el máximo estado estable, entendido como la intensidad máxima en la que al menos es posible realizar un esfuerzo de ~ 2 h, se sitúa habitualmente a una concentración de lactato comprendida entre 2,3 y 3 mmol·l⁻¹ (Legaz-Arrese *et al.*, 2006; Terreros y Navas, 2003; Oyono-Enguelle *et al.*, 1990; Föhrenbach *et al.*, 1987). Una intensidad asociada a una concentración de lactato inferior a 2,3-2,5 mmol·l⁻¹ probablemente se puede mantener durante un tiempo considerable superior. A este respecto, Terreros y Navas (2003) observaron que con una FC correspondiente a una concentración de 2 mmol·l⁻¹ un grupo de ciclistas realizó un esfuerzo de 2 h, observándose incluso durante el esfuerzo una disminución de la concentración de lactato. El Tlím a VOBLA difiere entre los autores, situándose en carrera a pie entre 20 (Fa *et al.*, 1989) y 50 minutos (Foxdal *et al.*, 1989).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

al., 1996). Probablemente, el Tlím a VOBLA en atletas de mayor nivel a los analizados en estos estudios pueda mantenerse durante ~ 1 h. Recordemos que la concentración de lactato de Indurain cuando consiguió el récord de la hora fue de $5,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Desde esta perspectiva, el Tlím a una concentración comprendida entre 3 y $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ puede situarse en el intervalo de 1 a 2 h de esfuerzo. Si la concentración de lactato es superior a $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, el Tlím disminuye significativamente. Por ejemplo, en 51 deportistas de mediofondo y fondo de nivel regional y nacional, Terreros y Navas (2003) observaron que el Tlím a la intensidad asociada a $5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ fue únicamente 19 ± 9 min, finalizando el esfuerzo con una concentración próxima a $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Las referencias establecidas deben utilizarse únicamente como un criterio orientativo debido tanto a la ausencia de estudios controlados que aporten mayor información como a las variaciones individuales asociadas al nivel de los deportistas y a otros factores. Sin embargo, estas referencias valoradas por el entrenador para cada atleta en función del conocimiento de su ritmo de entrenamiento a distintas intensidades pueden servir para una mejor orientación de las cargas de entrenamiento asociadas a las distintas zonas metabólicas. Para una mayor exactitud, es aconsejable la ejecución de pruebas más específicas en la determinación de los parámetros fisiológicos a intensidades submáximas.

Determinación de factores de rendimiento mediante pruebas de intensidad progresiva submáxima y de intensidad constante

Uan

Debido a que el Uan está asociado a una intensidad submáxima, son numerosos los protocolos y métodos utilizados en la literatura científica para su identificación mediante pruebas que no requieren el esfuerzo máximo del deportista. Habitualmente estos protocolos se han diseñado para su identificación en pruebas de campo. Uno de los más difundidos es el **protocolo de Mader** para determinar la **VOBLA** en pruebas de campo (Mader *et al.*, 1976). Este test, muy utilizado en natación, consiste en recorrer una distancia a una intensidad que se considere próxima a una concentración

de lactato de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; posteriormente y tras un período completo de descanso de 10-20 min, se recorre la distancia a ritmo de competición (figura 133a). Con los datos obtenidos se establece una relación lineal entre la intensidad y la lactacidemia derivando la VOBLA (figura 133b).

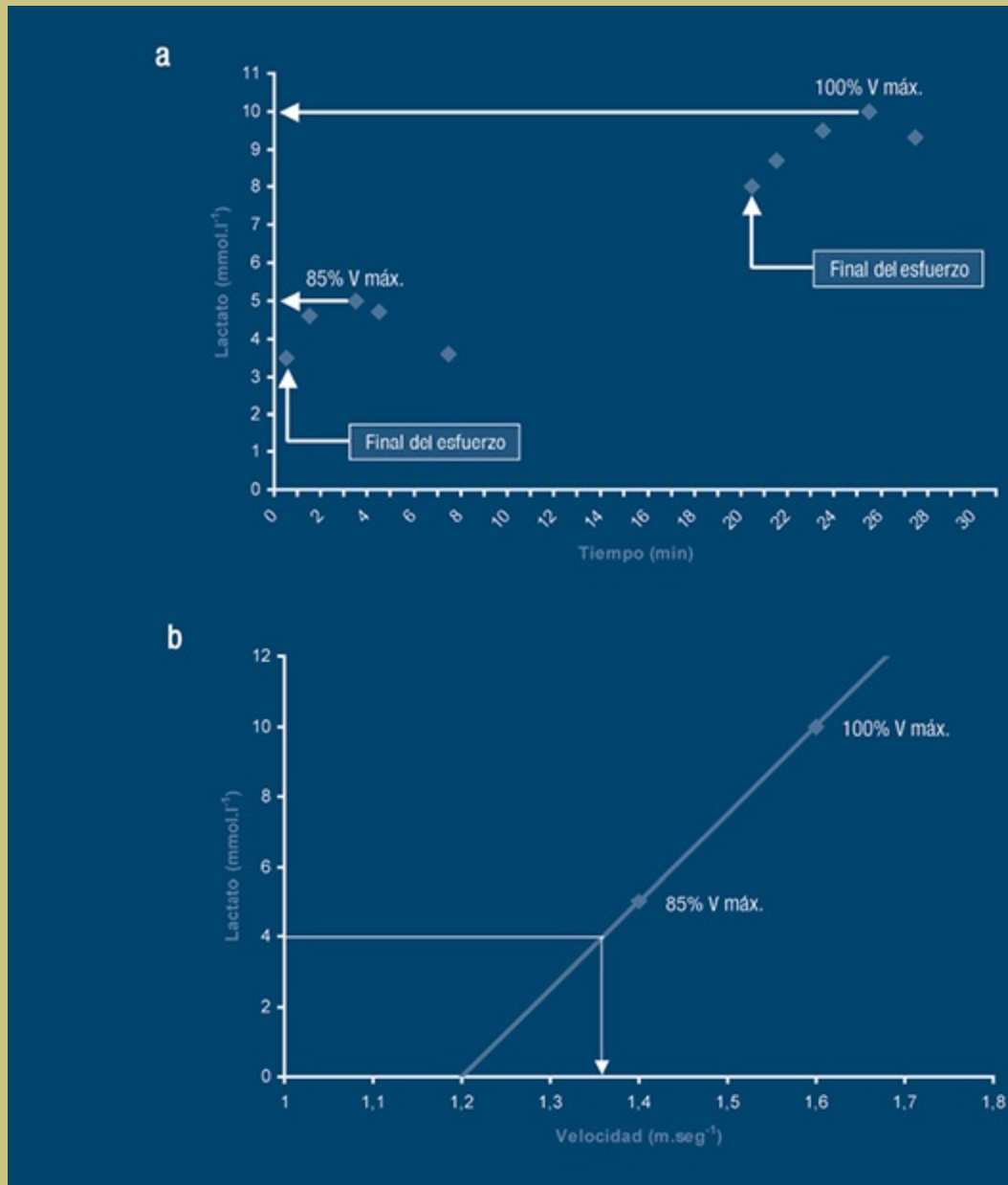


FIGURA 4.133. Protocolo de Mader para determinar la VOBLA en una prueba de campo (a) y su identificación mediante la relación lactacidemia/intensidad (b). El protocolo de Mader requiere inicialmente determinar la concentración de lactato asociada a una velocidad del 85% de la máxima velocidad que el deportista puede desarrollar para

una determinada distancia. Después de un largo período de recuperación se determina la concentración de lactato asociada a la máxima velocidad de desplazamiento. Mediante la recta correspondiente a la relación intensidad/lactato determinada a las dos velocidades se establece la VOBLA.

Adaptado de Calbet JA y Gorostiaga E. Evaluación del deportista de alto rendimiento deportivo. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1998.

Basándose en el trabajo de Davis y Gass (1979), Tegtbur *et al.*, (1993) desarrollaron el **test del lactato mínimo** (LMT) con el fin de estimar el Uan en una única sesión de la prueba. El LMT es un test incremental en cinta ergométrica realizado inmediatamente después de un ejercicio supramáximo que determina una elevada concentración de lactato. Este test, diseñado para corredores, consiste en la realización a máxima velocidad de 2 repeticiones de 200 m con 1 min de recuperación (para fondistas los autores recomiendan repeticiones de 300 y 200 m). Posteriormente, los deportistas se recuperan andando durante 8 min, comprobando la concentración de lactato a los 7 min. Después del período de recuperación comienza el test incremental hasta el agotamiento, con un incremento de $0,33 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ cada 800 ó 1.200 m, respectivamente, para corredores de media y larga distancia. Se establece la concentración láctica después de cada estadio realizando una pausa de 30 seg. La elevada concentración de lactato asociada al esfuerzo supramáximo determina que en los primeros estadios del test incremental se observe una disminución de la concentración de lactato debido a que el deportista es capaz de metabolizar más lactato del que produce. Sin embargo, cuando la intensidad del esfuerzo es más elevada que el Uan, la *ratio* de producción de lactato excede la *ratio* de eliminación y, por tanto, la concentración de lactato aumenta. Se considera la **VUan** a la intensidad en la que se produce una inflexión entre la disminución y el aumento de la concentración de lactato (figura 4.134). Este procedimiento también ha sido objeto de **críticas**, fundamentalmente por la dificultad de estandarización del protocolo (Carter *et al.*, 1999). Además, la concentración de lactato después del test supramáximo tiene que ser lo suficientemente elevada sin producir una fatiga excesiva antes del test incremental. Igualmente, el período de descanso entre los dos tests y la duración de los estadios en la prueba incremental han de ser lo suficientemente prolongados como para asegurar un equilibrio de la concentración de lactato, y simultáneamente se debe evitar una recuperación completa que haría imposible identificar el punto de inflexión entre la fase de eliminación y la de producción de lactato. La intensidad inicial y el

incremento, así como la duración del estadio, también parecen afectar la estimación del LMT (Carter *et al.*, 1999).

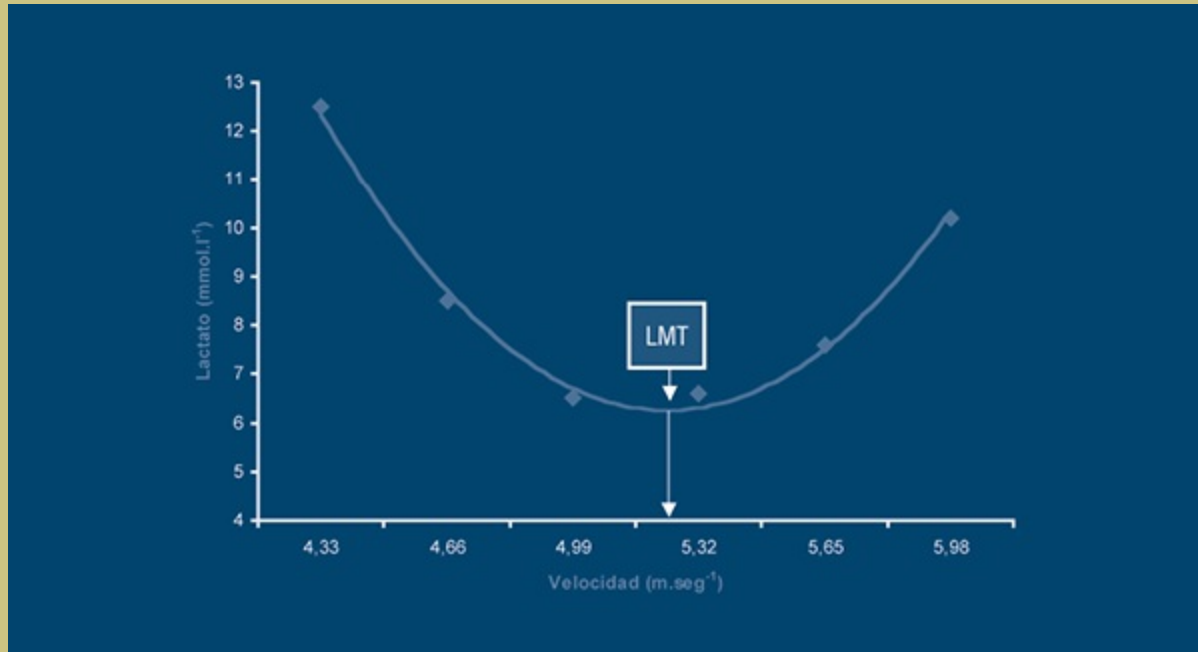


FIGURA 4.134. El test del lactato mínimo (LMT) para identificar el Uan mediante el protocolo de Tegt-bur. Compruébese la identificación del Uan LMT en el punto de inflexión entre la disminución y el incremento de la concentración de lactato en una prueba de intensidad progresiva ejecutada después de la repetición y posterior descanso de esfuerzos máximos repetidos que producen una elevada concentración de lactato. Véase el texto para un análisis detallado del protocolo.

Adaptado de Tegtbur U et al. Med Sci Sports Exerc 1993;25:620-7.

A raíz de los datos expuestos, muchos autores consideran que para determinar el Uan es necesario verificar en un esfuerzo de 20-30 min que realmente existe un equilibrio entre la producción y la eliminación de lactato. Esta forma de identificación del Uan se conoce como el **test del máximo estado estable del lactato** (MLSS). Por definición, el MLSS se obtiene cuando la concentración de lactato varía menos de $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ en los últimos 20 min de un esfuerzo a intensidad constante (Heck *et al.*, 1985). La intensidad inicial es dependiente del nivel del deportista y se selecciona habitualmente mediante parámetros obtenidos en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento, por ejemplo, la intensidad correspondiente a $3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Si la intensidad seleccionada produce en un esfuerzo de 30 min

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

un incremento del lactato superior a $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, al día siguiente se ejecuta un esfuerzo de 30 min a una intensidad inferior, y así sucesivamente hasta encontrar la velocidad que cumpla los criterios establecidos. Lógicamente, cuando la intensidad inicial seleccionada produzca un incremento del lactato inferior a $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, se debe aumentar en los días sucesivos la intensidad del esfuerzo hasta determinar el MLSS (figura 4.135). La magnitud del incremento o la disminución de la intensidad en los días sucesivos es muy variable en función de los autores, aunque habitualmente el **grado de precisión** es muy bajo, por ejemplo, $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (véase la figura 4.135). La identificación del MLSS requiere habitualmente de 3 a 5 días. El MLSS se ha identificado a concentraciones de lactato muy variables, por ejemplo $2\text{-}8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Billat *et al.*, 2003).

Aunque en la mayoría de los estudios se establece un **aumento de $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$** , algunos autores consideran un estado estable de lactato para aumentos inferiores. La duración del esfuerzo también varía en función de los autores (figura 4.136). Nosotros consideramos que existe mayor validez en la determinación del MLSS cuando se ejecutan esfuerzos de 30 min, considerando un **incremento del lactato inferior a $0,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$** entre el minuto 10 y el 30. A este respecto, hay que considerar que el test del MLSS identifica una intensidad estable para una duración de esfuerzo como máximo de 30 min, por lo que un incremento del lactato para esta duración superior a $0,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ probablemente indica una concentración excesiva en un esfuerzo que se aproxime a las 2 h. Hay que recordar que es precisamente a partir de los 30 min de esfuerzo cuando los principales parámetros fisiológicos varían debido a la termorregulación, la economía del esfuerzo en fatiga y la mayor participación relativa del metabolismo de las grasas.

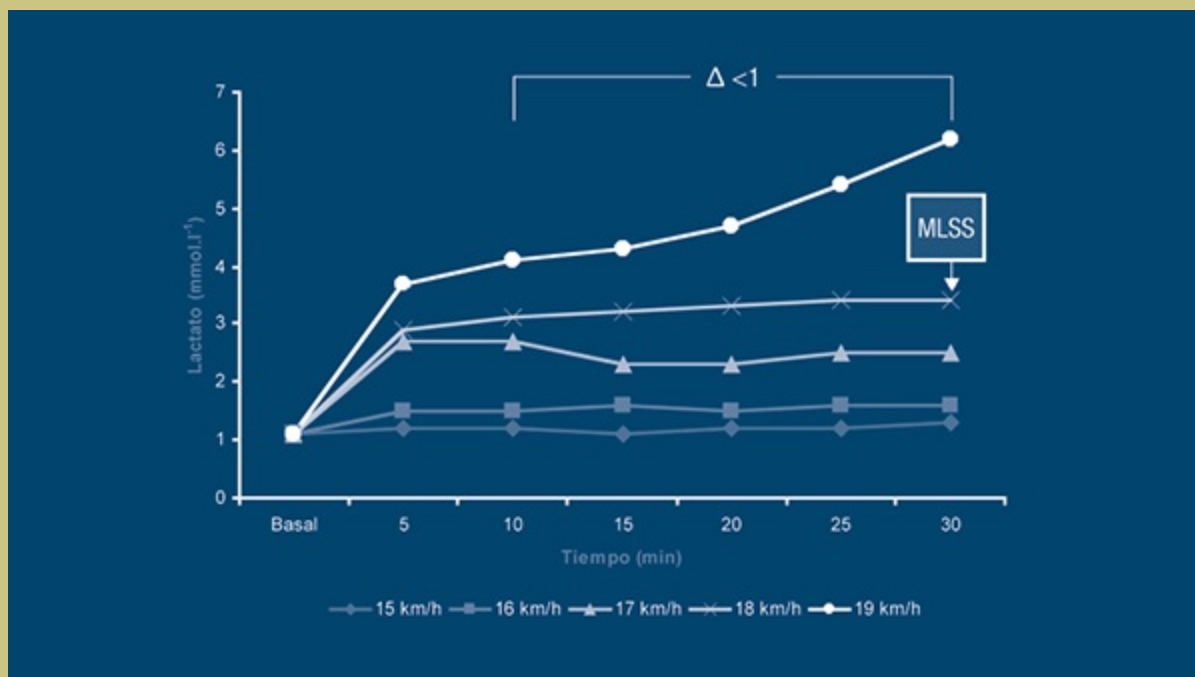


FIGURA 4.135. Ejemplo de la identificación del MLSS en un deportista. El protocolo más extendido para la identificación del MLSS implica determinar la máxima intensidad en la que el incremento de concentración de lactato entre los minutos 10 y 30 de esfuerzo es inferior a $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. En este ejemplo, a $19 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ el incremento del lactato entre los minutos 10 y 30 es $2,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($4,1$ vs. $6,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$), estableciendo el MLSS a $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, donde el incremento es únicamente $0,3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($3,1$ vs. $3,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Véase el texto para un análisis detallado de las limitaciones y precisión de este protocolo.

Adaptado de Kilding AE y Jones AM. Med Sci Sports Exerc 2005;37:1734-40.

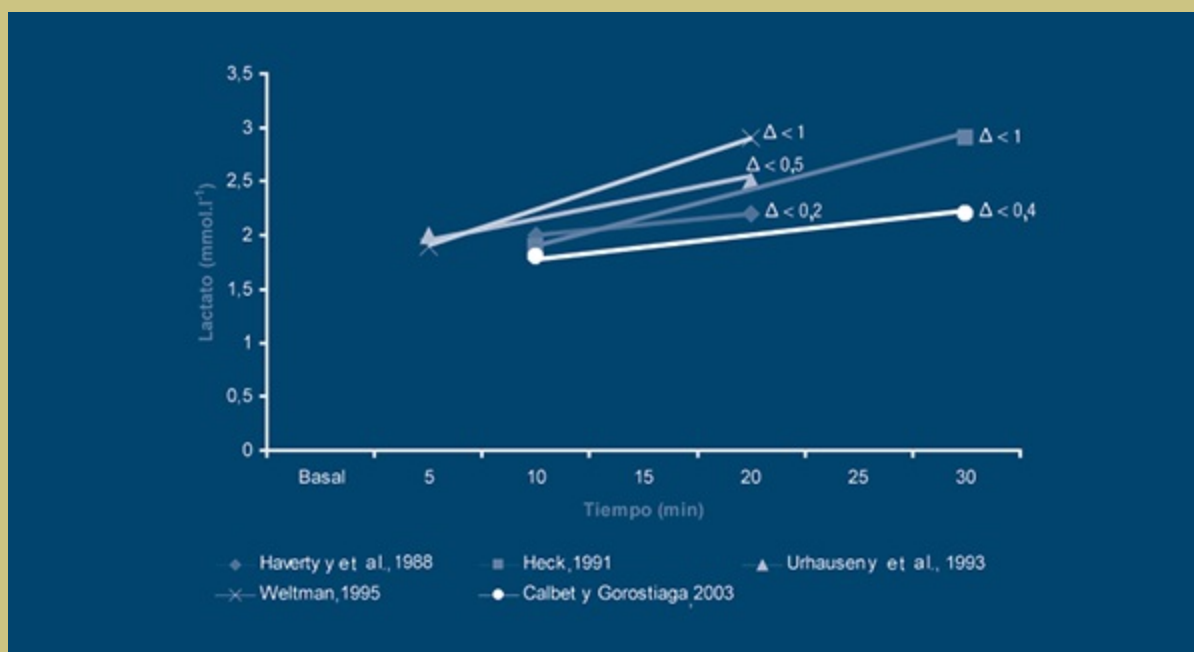


FIGURA 4.136. Duración de cada intensidad e incremento del lactato sugerido por distintos auto-res para identificar el MLSS. Véanse las controversias entre distintos autores respecto al protocolo requerido para determinar el MLSS.

Adaptado de Calbet JA y Gorostiaga E. Evaluación del deportista de alto rendimiento deportivo. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1998.

El test de MLSS es el **referente para conocer el verdadero Uan** del deportista. Su principal crítica es la **inversión temporal** requerida, lo que ha determinado que numerosos investigadores hayan intentando desarrollar protocolos que mantuvieran similar validez reduciendo el tiempo para su identificación (Harnish *et al.*, 2001; Palmer *et al.*, 1999; Leibar y Terrados, 1996; Billat *et al.*, 1994; Urhausen *et al.*, 1993).

De estos nuevos protocolos que intentan simplificar la determinación del MLSS, quizás el método potencialmente más atractivo es el **test de Billat** (Billat *et al.*, 1994). Con este método, los deportistas reciben instrucciones para realizar dos esfuerzos a intensidad constante que requieran aproximadamente el 67% y 82% del VO₂ máx. (datos del trabajo original), separados por 40 min de descanso pasivo. La primera intensidad está seleccionada a una velocidad que habitualmente es inferior al Uan, por lo que, supuestamente, después de un incremento del lactato en los primeros minutos como consecuencia del déficit de O₂, el deportista es capaz de

metabolizar más lactato del que produce, por lo que la concentración de lactato al finalizar el esfuerzo será menor que en los primeros minutos. La segunda intensidad está seleccionada a una velocidad superior al U_{an} , por lo que a lo largo de este esfuerzo el ritmo de producción de lactato va a ser mayor que la capacidad para metabolizarlo, por lo que al finalizar el esfuerzo la concentración de lactato va a ser mayor que al inicio del esfuerzo. Para ambas intensidades, los autores recomiendan determinar la variación del lactato entre el minuto 5 y el 20 (figura 4.137a). La tasa de intensidad de los dos esfuerzos se selecciona una por debajo y otra por encima de la VOBLA identificada en test de intensidad progresiva hasta el agotamiento. La intensidad asociada al **MLSS** se determina estableciendo la relación entre la variación láctica y la intensidad del esfuerzo (figura 4.137b), considerando en este caso un incremento nulo de la concentración de lactato.

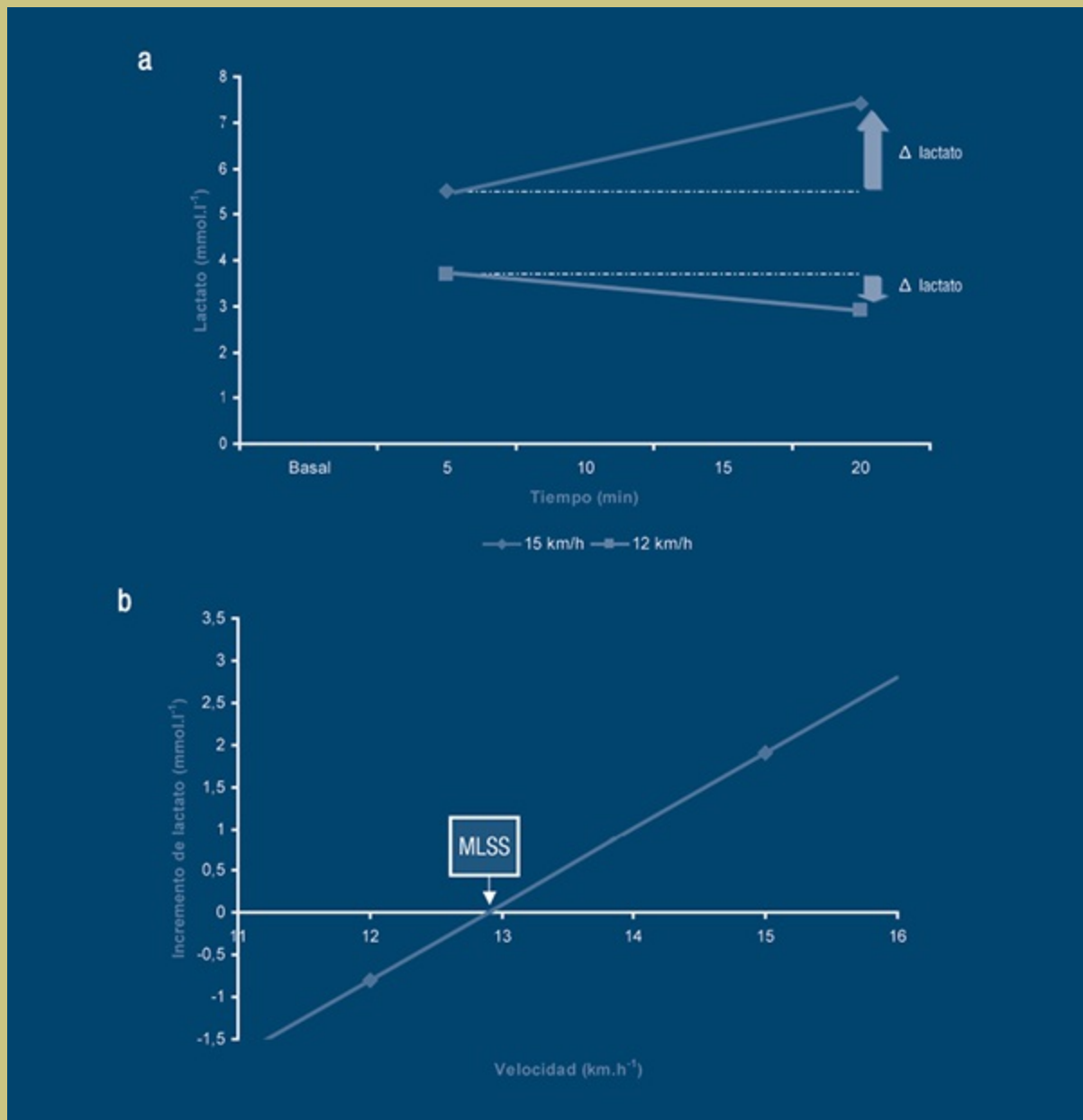


FIGURA 4.137. Protocolo de Billat para determinar el MLSS (a) y su identificación mediante la relación Δ lactato/intensidad (b). El protocolo de Billat requiere realizar dos esfuerzos a una intensidad inferior y superior al Uan, determinando respectivamente la previsible disminución y aumento de la concentración de lactato entre el minuto 5 y el 20 del esfuerzo. Mediante la recta correspondiente a la relación intensidad/ Δ lactato determinada a las 2 velocidades se establece el MLSS en la intensidad en que el Δ lactato es igual a Δ . Véase el texto para un análisis detallado del protocolo.

Adaptado de Billat VL et al. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1994;69:196-202.

Como este protocolo está basado en asumir que el ritmo de eliminación de lactato a intensidades inferiores al Uan es proporcionalmente el mismo que el ritmo de acumulación a intensidades superiores, la validez de la determinación del MLSS es adecuada para cualquier intensidad que se encuentre por debajo y por encima del Uan. De hecho, estas intensidades van a estar determinadas por el nivel del deportista, por ejemplo los corredores de elite son capaces de mantener $\sim 90\%$ del VO_2 máx. en una maratón (Legaz-Arrese *et al.*, 2006); por lo tanto, para estos atletas se requiere una intensidad superior para observar un incremento del lactato en un esfuerzo de 20 min. Este método asume que la relación entre la intensidad y la concentración de lactato es lineal, mientras que está claramente identificada una curva exponencial. Es evidente que la alinealidad de esta relación se reduce seleccionando dos velocidades cercanas, disminuyendo el error en la interpolación de los datos; pero además de que esto no siempre va a ser posible en función del nivel del deportista, el error obtenido pone en serias **dudas que este método sea válido** en la determinación del MLSS. A este respecto, en un estudio de Kilding y Jones (2005) se ha demostrado que el protocolo propuesto por el grupo de trabajo de Billat subestima significativamente el MLSS. Los mencionados autores encontraron una sorprendente diferencia entre el MLSS determinado mediante el protocolo tradicional y el método propuesto por Billat *et al.*, (1994) ($16,4 \pm 1,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vs. $13,4 \pm 1,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Entre otras justificaciones, una de las causas de estas diferencias es que en el protocolo de Billat *et al.*, (1994) la intensidad identificada como el MLSS corresponde a aquella en la que no existe incremento del lactato, mientras que en el método tradicional de identificación del MLSS se admite un aumento de $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para una duración de 30 min. Independientemente, a falta de otros estudios, las diferencias observadas entre ambos protocolos son excesivas como para considerar el test de Billat adecuado para identificar el MLSS.

El **test 5 x 2.000 m** se utiliza habitualmente en España para determinar el MLSS en corredores de maratón (Leibar y Terrados, 1996). A pesar de que la repercusión de este protocolo a nivel didáctico y en la literatura científica es prácticamente inexistente, algunos resultados son indicadores de su utilidad. Sin embargo, no conocemos ningún estudio que haya determinado su fiabilidad mediante la comparación con el protocolo tradicional de identificación del MLSS. Tampoco conocemos estudios de similares características en la adaptación de este protocolo a otras modalidades

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

deportivas. El test establece inicialmente la ejecución en pista de atletismo de 5 repeticiones de 2.000 m (~ 6 min) con un descanso de 1 min entre repeticiones. La intensidad se incrementa progresivamente, disminuyendo 2,5 seg el tiempo requerido para cubrir la distancia de 1 km (p. ej., 18,7, 18,95, 19,2, 19,45 y 19,7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). La intensidad se selecciona de manera que entre la 3ª y 4ª repeticiones el deportista desarrolle el ritmo de competición en la maratón. Se anota la concentración de lactato al finalizar cada una de la series. Se identifica el **MLSS** en la intensidad máxima con un incremento del lactato inferior a 1 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Al día siguiente se ejecuta a la velocidad identificada como el MLSS un **test de confirmación** recorriendo una distancia de 7.200 m (~ 22 min), anotándose el incremento del lactato obtenido a los 3.200 m y al finalizar el esfuerzo. En el caso de que el incremento del lactato sea inferior a 1 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, la intensidad seleccionada se considera la VMLSS; en caso contrario, se establece la intensidad inferior más próxima desarrollada en el test de 5 x 2.000 m como la VMLSS. Desde nuestra perspectiva, nuevamente hay que resaltar que es probable que un incremento de 1 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en una duración del esfuerzo relativamente corta sea excesivo para considerar el MLSS. A modo ilustrativo, la figura 4.138 muestra los valores publicados por Navarro y Legaz (1998) relativos a una valoración de la Real Federación Española de Atletismo de un grupo de maratonianos de nivel internacional, resaltando los valores individuales del deportista con mejor rendimiento. El primer aspecto de interés es la elevada sensibilidad de la concentración de lactato a pequeños cambios de intensidad, realzando las limitaciones de otros métodos que extrapolan los valores del lactato asociados a incrementos de intensidad elevados. En el deportista con mejor rendimiento se observa una estabilización de la concentración de lactato en las intensidades más elevadas, sugiriendo que probablemente su MLSS corresponda a la máxima velocidad desarrollada (19,7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) o incluso a una velocidad ligeramente superior. Por el contrario, en el grupo de maratonianos se observa un incremento promedio de 0,55 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ entre las repeticiones ejecutadas a una intensidad de 18,95 y 19,2 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, y un incremento añadido de 0,8 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a una intensidad de 19,45 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. En este grupo, el incremento de 0,55 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ observado en un esfuerzo de sólo 6 min parece excesivo para considerar que estos deportistas puedan mantener esta intensidad en una maratón, sugiriendo que su VMLSS está situada a 18,95 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los 19,73 y 18,95 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ sugeridos como VMLSS,

respectivamente, para el deportista con mejor rendimiento y para el grupo de maratonianos tiene un ajuste casi perfecto con el rendimiento en la maratón más próxima a la ejecución del test, 19,63 y 18,99 km·h⁻¹. La figura 4.139 muestra los resultados obtenidos para la confirmación de la VMLSS en el test de 7.200 m. Atendiendo al criterio de **incremento del lactato de 1 mmol·l⁻¹**, la VMLSS se identificó a 19,73 km·h⁻¹ en el deportista con mejor rendimiento y a 19,51 km·h⁻¹ de promedio para el grupo de maratonianos (una intensidad de 0,56 km·h⁻¹ superior a la identificada para un incremento inferior a 0,4 mmol·l⁻¹). El incremento del lactato fue, respectivamente, 0,1 y 0,7 mmol·l⁻¹, confirmando, como posteriormente se demostró con el rendimiento en competición, que la VMLSS seleccionada para el mejor deportista era la adecuada, y que la seleccionada para el grupo de maratonianos era excesiva. Estos resultados, aunque con pocos deportistas, sugieren la efectividad de este protocolo para identificar, al menos en los maratonianos, la VMLSS, y resaltan que probablemente en la identificación tradicional del MLSS un **incremento superior a 0,4 mmol·l⁻¹** entre las distintas intensidades debe considerarse excesivo.

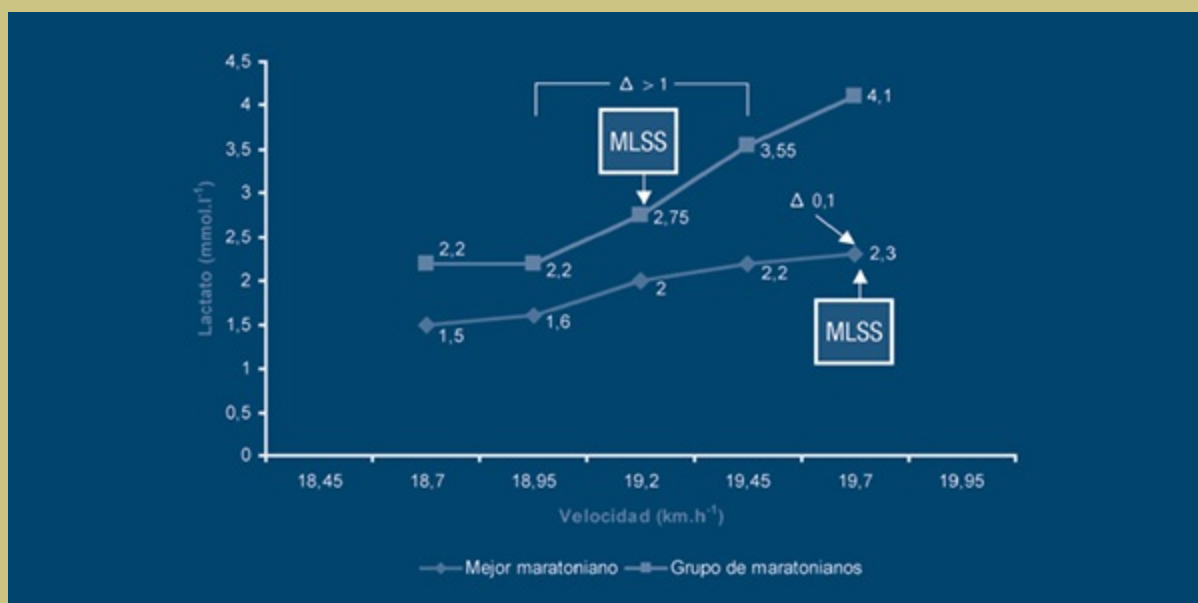


FIGURA 4.138. Ejemplo de identificación del MLSS mediante el test 5 x 2.000 m. El protocolo 5 x 2.000 m permite determinar en una única sesión el MLSS en la máxima intensidad en que el incremento de concentración de lactato respecto a la intensidades previas sea inferior a 1 mmol·l⁻¹. Obsérvese, según estos criterios, la identificación del

MLSS en el grupo de maratonianos y en el mejor de los maratonianos. Véase el texto para un análisis detallado de las limitaciones y la precisión de este protocolo.

Adaptado de Navarro F y Legaz A. RED 1998;12(2):25-8.

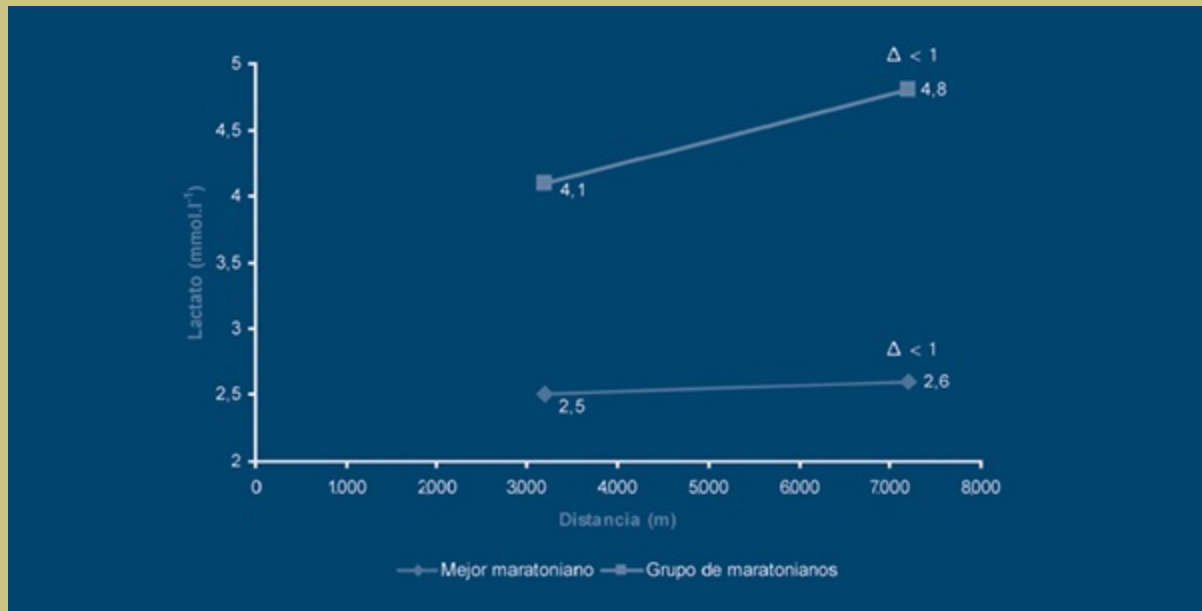


FIGURA 4.139. Ejemplo de confirmación de la VMLSS obtenida en el test 5 x 2.000 m mediante el re-corrido de una distancia de 7.200 m. El test de confirmación implica comprobar que a la VMLSS determinada mediante el test 5 x 2.000 m se observa un incremento del lactato inferior a 1 mmol·l⁻¹ entre las distancias de 3.200 a 7.200 m. En el grupo de maratonianos y en el mejor de los maratonianos se ha confirmado según estos criterios la VMLSS. Véase el texto para un análisis detallado de la implicación de estos resultados.

Adaptado de Navarro F y Legaz A. RED 1998;12(2):25-8.

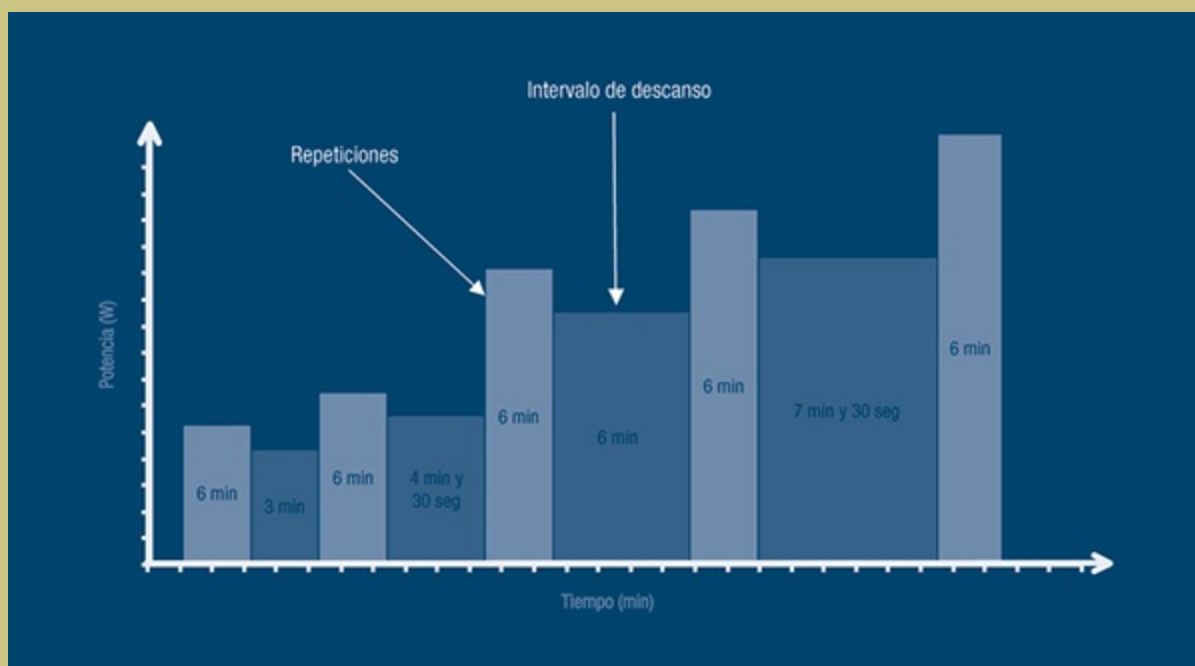


FIGURA 4.140. Protocolo recomendado para identificar la economía del esfuerzo a una intensidad progresiva submáxima. En un protocolo de intensidad progresiva submáxima diseñado para establecer la economía del esfuerzo, la duración en cada intensidad es superior a la habitualmente establecida en un protocolo de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo. Obsérvese también que el período de recuperación aumenta con la intensidad.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

Economía del esfuerzo

La principal limitación de la **valoración de la economía del esfuerzo** en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento es la ausencia de una estabilización de los valores del VO_2 debido a la duración de la carga (~ 3 min). Por este motivo, en la mayoría de los estudios que establecen el VO_2 como un indicador de eficiencia se realiza su valoración en **protocolos de intensidad progresiva submáxima** con una duración de la carga de 6 a 10 min, por ejemplo, para corredores en el intervalo de intensidad de 177, 196, 215, 241, 268 y 298 $\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}$ dependiendo del nivel del deportista (Londeree, 1986). Dal Monte y Faina (1999) establecen que, para evitar la influencia de la intensidad anterior, se requiere un descanso entre las cargas, que debe ser mayor al incrementar la intensidad del esfuerzo (figura 4.140). Este tipo de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

protocolos es especialmente útil para valorar los materiales, las posturas, técnicas, frecuencia de pedaleo, etc., asociados con una mejor eficiencia. Es interesante aprovechar el **protocolo tradicional de identificación del MLSS** en laboratorio o en campo para determinar simultáneamente la evolución del VO_2 . En la figura 4.141 se representa este método para el mismo deportista y protocolo de la figura 4.135, lo que nos permite asociar la evolución del VO_2 en relación con la VMLSS. Mediante estos datos es posible observar que el VO_2 se mantiene relativamente constante durante los 30 min de esfuerzo a intensidad equivalente o inferior a la VMLSS ($\leq 18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Sin embargo, se observa una tendencia de incremento del VO_2 asociado a la duración del esfuerzo (de 4.350 a $4.600 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$) a una intensidad de $19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, sugiriendo que la **duración y la intensidad del esfuerzo** están asociados a una peor eficiencia en situación de fatiga al menos para una intensidad superior al Uan. A este respecto, son varios los estudios que concluyen que la economía de la carrera empeora en las carreras prolongadas y que su magnitud aumenta al incrementar la intensidad y duración del esfuerzo (Hunter y Smith, 2007; Sproule, 1998; Brueckner *et al.*, 1991) y está asociada a importantes variaciones individuales (Dal Monte y Faina, 1999). Un claro ejemplo se muestra en la figura 4.142, en la que se observa que el ganador de la maratón en los JJOO de 2004 tiene una eficiencia similar antes y después de recorrer 28 km a una velocidad próxima a la de competición, mientras que en otros dos maratonianos de nivel internacional, además de ser peor la eficiencia, ésta disminuye significativamente en situación de fatiga. Una peor eficiencia asociada a la duración del esfuerzo se ha observado también en marchadores de nivel internacional, relacionándose con el momento en que aumenta significativamente el requerimiento porcentual energético de las grasas (figura 4.143). Globalmente, este análisis sugiere que en deportistas que compiten en pruebas de larga duración es recomendable, aprovechando un día de entrenamiento, establecer un **protocolo de valoración pre y posfatiga del VO_2** , de forma similar al protocolo establecido en los maratonianos representados, para de esta forma establecer, al menos en la velocidad crítica de la prueba, el índice que relacione la eficiencia en situación pre y posfatiga. En función de los datos obtenidos, es posible reorientar el entrenamiento. Por ejemplo, en el sujeto “1” representado en la figura 4.142 es necesaria una mejora global de su economía del esfuerzo, mientras que en el sujeto “2” hay que incidir específicamente en la economía

asociada a la fatiga. Una análisis de la técnica en situación pre y posfatiga, de la termorregulación y de la *ratio* de utilización de los distintos sustratos energéticos permitirá además conocer las causas asociadas a la economía del esfuerzo.

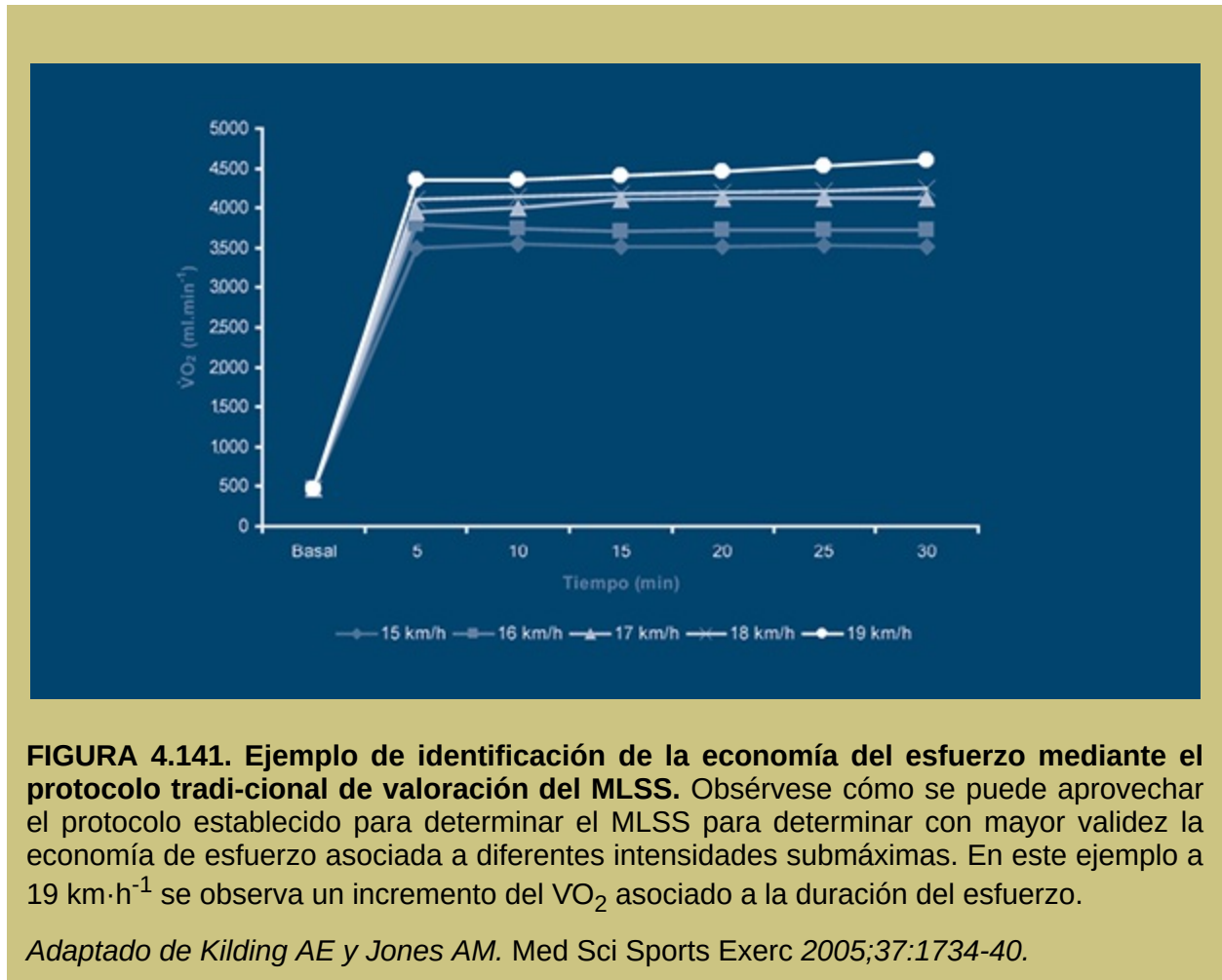


FIGURA 4.141. Ejemplo de identificación de la economía del esfuerzo mediante el protocolo tradi-cional de valoración del MLSS. Obsérvese cómo se puede aprovechar el protocolo establecido para determinar el MLSS para determinar con mayor validez la economía de esfuerzo asociada a diferentes intensidades submáximas. En este ejemplo a 19 km·h⁻¹ se observa un incremento del $\dot{V}O_2$ asociado a la duración del esfuerzo.

Adaptado de Kilding AE y Jones AM. Med Sci Sports Exerc 2005;37:1734-40.

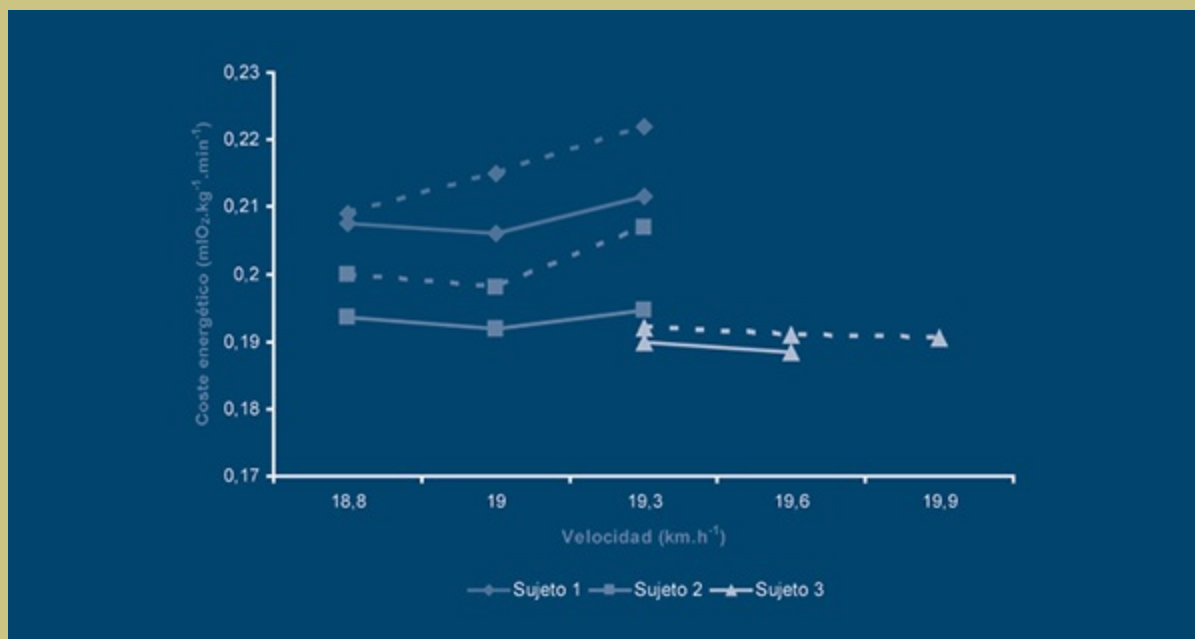


FIGURA 4.142. Diferencias en la economía del esfuerzo a velocidades próximas a la de competición antes y después de realizar un esfuerzo de 28 km en 3 maratonianos de elite. Las líneas continuas reflejan la valoración prefatiga. Las líneas discontinuas reflejan la valoración posfatiga. La economía del esfuerzo empeora con la fatiga del deportista. Compruébese también las diferencias entre estos deportistas en la economía del esfuerzo a distintas velocidades y su diferencia en situación pre y posfatiga. Véase el texto para un análisis detallado de estos datos.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

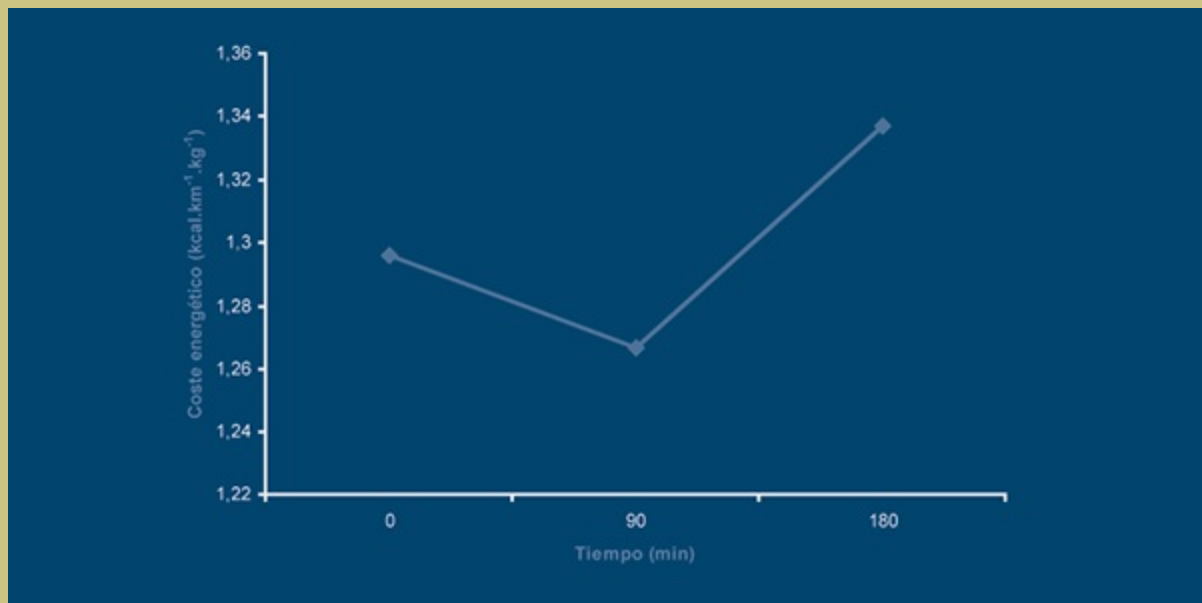


FIGURA 4.143. Diferencias en la economía de esfuerzo a velocidad de competición en función de la duración del esfuerzo en marchadores de elite. En este ejemplo, la economía del esfuerzo empeora significativamente con la duración del esfuerzo probablemente como consecuencia de la fatiga y de la mayor contribución del metabolismo de las grasas.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

Tlím, tolerancia al lactato, eficiencia aeróbica y eficiencia aeróbica-anaeróbica

Aunque tradicionalmente son pruebas de valoración menos utilizadas, probablemente la **determinación del Tlím a una determinada intensidad** seleccionada en función de la duración de la competición permite identificar con mayor validez la adaptación del deportista. El Tlím que un deportista es capaz de desarrollar a una determinada intensidad representa una prueba que simula en mayor medida la competición y es dependiente de la interrelación de varios factores, fundamentalmente la tolerancia al lactato y la economía del esfuerzo. Dependiendo del objetivo de la valoración, la intensidad del esfuerzo seleccionada puede establecerse en **valores absolutos**, por ejemplo, la comparación entre deportistas o del mismo deportista del Tlím desarrollado a una velocidad de $17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ o a $160 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$, o en **términos relativos**, fundamentalmente asociados a la VAM y/o a la VUan. En la tabla 4.53 se

específica, a partir de los datos reales de un deportista, los principales tests que pueden ser aplicados en función de la duración de la competición y que básicamente constituyen la determinación del Tlím a VAM, el Tlím a VUan, la tolerancia al lactato y la determinación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica y de la eficiencia aeróbica.

TABLA 4.53. Ejemplo de pruebas para la valoración del Tlím a distintas intensidades, la tolerancia al lactato y la eficiencia aeróbica y aeróbica-anaeróbica

Datos del deportista obtenidos en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento			
	<i>Intensidad (W)</i>	<i>FC (lat·min⁻¹)</i>	<i>V_O₂ (ml·kg⁻¹·min⁻¹)</i>
WUan	335	167	64,9
WAM	390	187	76,2



Determinación de pruebas basándose en la información disponible del deportista			
	<i>Intensidad</i>	<i>Duración</i>	<i>Medida</i>
Tlí a WAM	390 W	Máxima	Tiempo
Tlím a WUan	335 W	Máxima	Tiempo
Tolerancia al lactato	Potencia a una concentración de interés	Máxima	Tiempo
Eficiencia aeróbica-anaeróbica	Intensidad relativa (%) de interés situada entre 335 y 390 W (p. ej., 90% WAM = 351 W)	Máxima	Tiempo límite
	Distancia o tiempo fijo de interés que en esfuerzo máximo se sitúe entre 335 y 390 W	Máxima	Intensidad relativa (%WAM, %V _O ₂ máx.)
	Intensidad absoluta o relativa de interés entre 335 y 390 W (p. ej., 90% WAM = 351 W)	No máxima	V _O ₂ , FC, lactato
Eficiencia aeróbica	Intensidad relativa (%) de interés inferior a 335 W (p. ej., 90% WUan = 302 W)	Máxima	Tiempo límite
	Distancia o tiempo fijo de interés que en un esfuerzo máximo permita desarrollar menos de 335 W	Máxima	Intensidad relativa (%WAM, %V _O ₂ máx.)
	Intensidad absoluta o relativa de interés inferior a 335 W (p. ej., 90% WUan = 302 W)	No máxima	V _O ₂ , FC, lactato

Original de los autores.

La **determinación del Tlím a VAM** requiere lógicamente la valoración previa de la **VAM** de cada deportista. En el caso del deportista representado,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

el test consiste en valorar el tiempo que el ciclista es capaz de mantener una potencia de 390 W. Con este objetivo es necesario realizar previamente un calentamiento de aproximadamente 10 min a una intensidad del 60% de la VAM. Este test puede realizarse en laboratorio y en campo. En los tests de campo se puede controlar la intensidad mediante diferentes métodos en función de la modalidad deportiva: cinta magnetofónica, potencia desarrollada, velocidad marcada por una bicicleta, etc. La determinación del Tlím a VAM se debe considerar un test imprescindible para las modalidades deportivas con una duración de la competición comprendida entre 3 y 15 min. Hay que tener en cuenta que este test ofrece un valor diferenciado de la adaptación del deportista, probablemente asociado a su economía del esfuerzo y tolerancia al lactato correspondiente a esta intensidad. De hecho, se sabe que el Tlím a VAM presenta una gran variabilidad interindividual (Gazeu *et al.*, 1997) y que además su valor puede ser independiente de la VAM y del VO_2 máx. (Billat *et al.*, 1994).

De forma análoga, la **determinación del Tlím a VUan** requiere la valoración previa de la **VUan**. En el caso del deportista representado, el test consiste en valorar el tiempo que el ciclista es capaz de mantener una potencia de 335 W. Probablemente debido a la mayor duración del esfuerzo, este test no es habitual ni en los artículos de investigación ni en la batería de tests de los centros de valoración. Sin embargo, tal y como se representó en la figura 4.31, al igual que el Tlím a VAM, el Tlím a VUan puede que sea uno de los principales valores diferenciadores de los deportistas que compiten en pruebas de una duración superior a 1 h.

Aunque la tolerancia a distintas concentraciones de lactato es uno de los principales factores determinantes del rendimiento en los esfuerzos máximos continuos, no es habitual realizar su valoración específica. La determinación del Tlím a VAM y del Tlím a VUan es realmente una medida indirecta del Tlím a la concentración de lactato habitual para ambas intensidades. Mediante una ecuación matemática es posible identificar en la relación de la curva lactato/intensidad la velocidad correspondiente a distintas concentraciones de lactato, por ejemplo, la velocidad correspondiente a 2, 3, 4, 5 y 6 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. De esta forma, es posible la **identificación del Tlím a la velocidad correspondiente a una determinada concentración de lactato**. Por definición, al menos para una intensidad superior a la VUan, realmente lo que se mide no es el Tlím a una concentración fija de lactato debido a que la concentración aumenta asociada a la duración del esfuerzo. En este sentido,

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

el Tlím a una concentración de lactato comprendida entre 4 y 7 mmol·l⁻¹ puede ser un valor diferenciador del rendimiento en esfuerzos de 10-60 min. Recuérdese la elevada variabilidad observada por Terreros y Navas (2003) en el Tlím a 5 mmol·l⁻¹ en corredores de mediofondo y fondo (19 ± 9 min).

Debido a que está demostrado que dos atletas con similar VO₂ máx. no necesariamente son capaces de mantener el mismo %VO₂ máx. para la misma duración del esfuerzo (Legaz-Arrese *et al.*, 2006; Basset y Howley, 1997; Péronnet y Thibault, 1989), la eficiencia aeróbica-anaeróbica y la eficiencia aeróbica deben incluirse en la valoración específica de los deportistas de elite con protocolos propios. A este respecto, la medida del rendimiento en un test a constante velocidad o potencia es la determinación de su Tlím, valoración ya establecida por Monod y Scherrer (1965).

La eficiencia aeróbica-anaeróbica y la eficiencia aeróbica son dependientes de una variedad de factores que comprenden la economía del esfuerzo, la tolerancia a una determinada concentración de lactato y, para esfuerzos de larga duración, un indicador de la capacidad de termorregulación y equilibrio hidroeléctrico, por lo que su valoración puede ser un buen indicador de la adaptación del deportista.

Por definición, la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica se ha establecido para una duración del esfuerzo comprendida entre el Tlím a VAM (~ 6 min) y el Tlím a VUan (~ 2 h). Hay diferentes métodos para la **determinación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica** de un deportista y su comparación en relación con otras valoraciones o deportistas. Una posibilidad es establecer el **Tlím a una intensidad relativa a la VAM o al VO₂ máx.** que se sitúe entre la VUan y la VAM, por ejemplo, en el ciclista representado, determinar el Tlím al 90% de la WAM (351 W). Otra posibilidad es establecer el **%VAM o el % VO₂ máx. que un deportista es capaz de desarrollar para una duración o distancia fija** de interés situada entre el Tlím a VUan y el Tlím a VAM. Esto implica, por ejemplo, determinar la velocidad que un deportista es capaz de desarrollar para una duración de 30 min. En la comparación de un mismo deportista o entre deportistas es posible desarrollar mayor velocidad debido a otros factores no asociados a una mejora de la eficiencia aeróbica-anaeróbica, por ejemplo, por una mejora de la VAM. Por este motivo, para aislar el efecto de la eficiencia aeróbica-anaeróbica, es necesario establecer el %VAM o en su caso el %VO₂ máx. que el deportista ha sido capaz de desarrollar. Otra posibilidad de determinar la eficiencia aeróbica-anaeróbica

de un deportista es establecer los **parámetros fisiológicos asociados a una concreta intensidad absoluta o relativa**. Por ejemplo, en el ciclista representado, determinar la FC, el lactato o el VO_2 a una intensidad correspondiente al 90% de la WAM (351 W). En este caso no se requiere realizar el máximo tiempo posible para esa intensidad ya que lo que se pretende es determinar si el deportista es capaz de desarrollar una misma intensidad relativa durante un tiempo relativamente prolongado con un menor gasto energético. También es posible determinar estos parámetros para una misma intensidad absoluta, como valorar siempre a la misma intensidad (p. ej., 350 W) la evolución de la FC, el lactato y el VO_2 . Sin duda, una disminución en cualquiera de estos parámetros fisiológicos es un indicador de una mejora del estado de adaptación del deportista. Sin embargo, tal y como se ha indicado anteriormente, mediante este método no es posible determinar si la mejora del rendimiento se asocia a la eficiencia aeróbica-anaeróbica o a otros factores como la VAM.

Por definición, la eficiencia aeróbica corresponde a una intensidad inferior a la VUan, que equivale, al menos didácticamente, a una duración del esfuerzo superior a 2 h. Aunque para la **evaluación de la eficiencia aeróbica** es posible aplicar los diferentes métodos especificados para la evaluación de la eficiencia aeróbica-anaeróbica, es necesario hacer notar algunas limitaciones. Hay que considerar que la determinación del **Tlím a una intensidad relativa a la VUan**, por ejemplo al 90% de la WUan (302 W en el ciclista representado), implica un esfuerzo que puede superar las 3 h de ejercicio, lo que puede suponer una limitación a menos que se considere la valoración como una sesión más de entrenamiento. La misma limitación ha de considerarse cuando se establece el **%VAM o el % VO_2 máx. desarrollado para una duración o distancia fija** a una intensidad inferior a la VUan. Por este motivo, la **identificación de los distintos parámetros fisiológicos para una misma intensidad absoluta o relativa** mantenida durante un período de tiempo relativamente largo, por ejemplo, 1 h, puede ser el método más eficaz para la valoración de la eficiencia aeróbica. Así, la valoración de estos parámetros fisiológicos en situación de **prefatiga y posfatiga**, simulando el protocolo establecido por Dal Monte y Faina (1999) para corredores de maratón, puede ser de gran utilidad en la reorientación del entrenamiento de los deportistas que compiten en pruebas de larga duración.

6.3. Evaluación en esfuerzos continuos que demandan energía superior al consumo máximo de oxígeno

Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el esfuerzo máximo

En los esfuerzos máximos continuos de una duración comprendida entre 1 y 6 min, el requerimiento energético debe ser satisfecho, además de por el VO_2 máx., por energía del metabolismo anaeróbico. En estas pruebas, para una misma velocidad de desplazamiento, un incremento de los valores del VO_2 máx. se asocia, en consecuencia, a un menor requerimiento del metabolismo anaeróbico y, por tanto, a la posibilidad de incrementar la velocidad. Desde esta perspectiva, la **determinación del VO_2 máx. y la VAM** constituye un requisito básico en la valoración de los deportistas que compiten en este intervalo de duración del esfuerzo. Así, la utilización de un protocolo tradicional de intensidad progresiva hasta el agotamiento máximo voluntario nos permite, además de realizar el control de salud en esfuerzo, medir parámetros relevantes para el rendimiento en pruebas de 1 a 6 min. Adicionalmente se recomienda la determinación de parámetros en esfuerzo submáximo como el Uan. Sin embargo, para estas modalidades deportivas los parámetros en esfuerzo submáximo pueden ser útiles como indicadores de **zonas de entrenamiento** de nivel facilitado más que como indicadores de los factores de rendimiento.

Determinación de factores de rendimiento mediante una prueba supramáxima

En deportistas que compiten en esfuerzos máximos continuos de una duración inferior a 6 min los factores asociados al metabolismo anaeróbico son determinantes del rendimiento. Adicionalmente, se ha considerado un factor de rendimiento la cinética del VO_2 . Por este motivo, en la valoración de estos deportistas se requiere la utilización de **pruebas a una velocidad**

superior a la VAM. Estas pruebas, denominadas supramáximas, pueden tener una **duración fija** como el test de Wingate o el test de Québec, en los que se aplica la máxima intensidad posible desde el inicio del esfuerzo, o una **intensidad fija** como en el test de Debruym-Prevost y Sturbois o el test de Cunningham y Faulkner, determinándose el tiempo que es posible mantenerla. Los test supramáximos están sujetos a numerosas **limitaciones** que es necesario considerar.

La primera limitación se refiere a la propia intensidad del esfuerzo. En las pruebas de laboratorio son necesarios ergómetros que permitan desarrollar altas velocidades y obtener datos fiables. Por ejemplo, en la cinta ergométrica conviene instalar arneses y dispositivos de seguridad, ya que corriendo a altas velocidades cualquier traspié puede significar un accidente grave.

La segunda limitación se refiere al significado de los valores obtenidos. La **determinación directa de la contribución del metabolismo anaeróbico** en un esfuerzo sólo es posible mediante la determinación con **biopsia muscular** de las concentraciones iniciales y finales de los depósitos de ATP, PCr y glucógeno, y con la determinación de la actividad de las enzimas claves del metabolismo aláctico y láctico. Así, por ejemplo, la determinación directa de la **potencia anaeróbica aláctica** conlleva establecer mediante biopsia muscular la **actividad de la ATPasa**. También podemos medir los depósitos iniciales de PCr y ATP y su grado de utilización en esfuerzos máximos de muy corta duración (véanse las figuras 4.10 y 4.14). Para identificar la **capacidad anaeróbica aláctica** hay que establecer mediante biopsia muscular la **concentración inicial de ATP y PCr**. En cualquier caso, disponer de mayor concentración de ATP y PCr no garantiza su **grado de utilización en el esfuerzo**. Así, se ha demostrado diferencias significativas entre deportistas en el grado de depleción del ATP y la PCr, y, por tanto, en su capacidad anaeróbica útil (Hirvonen *et al.*, 1987). La identificación directa de la **potencia anaeróbica láctica** implica determinar mediante biopsia el grado de **actividad de las enzimas limitantes** de este metabolismo, la glucógeno-fosforilasa y la fosfofructocinasa (véase la figura 4.11). La **determinación del ritmo de producción de lactato muscular** mediante biopsia es otra forma de establecer la potencia anaeróbica láctica, aunque no se considera la cantidad de lactato difundido a la sangre. En la tabla 4.54 se representan las características de la determinación directa del metabolismo anaeróbico.

Debido a que únicamente mediante biopsia muscular es posible medir

directamente la participación en un esfuerzo del metabolismo anaeróbico, se han establecido numerosas pruebas de valoración para la **determinación indirecta de la contribución del metabolismo anaeróbico**. Las pruebas habitualmente utilizadas determinan **parámetros mecánicos** que, como consecuencia de la **imposibilidad de aislar las distintas vías metabólicas**, sólo permiten tener una estimación del potencial de un deportista para obtener energía de forma rápida, independientemente de la contribución de las distintas vías metabólicas. Lógicamente, la contribución energética de las distintas vías metabólicas va a variar significativamente en función de la **duración de la prueba**. En este apartado se describen las principales pruebas supramáximas utilizadas para determinar el metabolismo anaeróbico y la cinética del VO_2 .

TABLA 4.54. Requisitos para la determinación directa del metabolismo anaeróbico

<i>Potencia anaeróbica aláctica</i>	<i>Capacidad anaeróbica aláctica</i>	<i>Potencia anaeróbica láctica</i>	
Esfuerzo de muy corta duración (mseg-10 seg) al máximo desde el inicio	Esfuerzo de muy corta duración (10 seg) al máximo desde el inicio	Esfuerzo de corta duración (10-30 seg) al máximo desde el inicio	
Determinar la actividad de la ATPasa	Determinar la cantidad y agotamiento de PCr	Determinar la actividad de la glucógeno-fosforilasa	Determinar el lactato muscular

Original de los autores.

Estimación del metabolismo anaeróbico mediante pruebas basadas en la medida del déficit máximo de oxígeno acumulado

En un esfuerzo máximo de corta duración, el metabolismo anaeróbico debe suplir la lentitud del VO_2 en alcanzar su máximo potencial y la energía extra correspondiente a una intensidad que es superior a la máxima que podría ser satisfecha por el VO_2 máx. La cantidad de energía satisfecha por el metabolismo anaeróbico se considera el déficit de O_2 . La **determinación del déficit máximo de O_2** es el mejor procedimiento para estimar de forma indirecta la **contribución del metabolismo anaeróbico** para las distintas duraciones del esfuerzo. De hecho, todos los datos aportados en este capítulo sobre la contribución energética asociada a las distintas duraciones del

esfuerzo provienen de investigaciones que han utilizado este método (véanse las figuras 4.16-4.19). Sin embargo, a efectos prácticos de reorientar el entrenamiento de los deportistas, la determinación del déficit máximo de O_2 acumulado tiene menor utilidad a causa de la **complejidad del protocolo** y a las dudas asociadas a su validez y fiabilidad.

El déficit máximo de O_2 acumulado en un esfuerzo es la diferencia entre el equivalente en O_2 de la energía total empleada y el VO_2 medido. El problema es el cálculo de la energía y su transformación en O_2 . El protocolo que habitualmente se utiliza para la determinación del déficit máximo de O_2 acumulado fue propuesto por Medbø *et al.*, (1988), y se asume que el comportamiento lineal del VO_2 respecto a la intensidad de ejercicio se prolonga hasta cargas supramáximas. La determinación del déficit máximo de O_2 requiere inicialmente la valoración del VO_2 máx. en un test de intensidad progresivamente creciente hasta el agotamiento. Después es necesario establecer la recta de economía del esfuerzo del deportista para intensidades inferiores al VO_2 máx. con el fin de transferir mediante la ecuación lineal que relaciona el VO_2 con la intensidad el supuesto valor del VO_2 a intensidades superiores al VO_2 máx. En el protocolo original, la recta de economía se valora a una inclinación de la cinta de 10,5°, determinando el VO_2 medio durante un esfuerzo de 10 min, que debe repetirse a 810 intensidades comprendidas entre el 35% y el 100% del VO_2 máx. Posteriormente se ha validado el protocolo para una duración de los esfuerzos de 4 a 6 min (Medbø 1996). De forma simplificada, la recta de economía puede evaluarse asumiendo para todos los sujetos un VO_2 de $5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en el punto de intersección de $0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (éste es un valor estadístico obtenido por los propios autores de forma experimental). El segundo punto de la recta corresponde a la medida del VO_2 durante 10 min a una intensidad lo más próxima posible al VO_2 máx. Para mejorar la fiabilidad, los autores recomiendan una tercera medición de los valores del VO_2 realizando en un día diferente otro esfuerzo a aproximadamente el 90% del VO_2 máx. Si las medidas obtenidas a aproximadamente el 90% y el 100% del VO_2 máx. se separan de la misma recta en más del 3%, se debe realizar otra medición en un día diferente. Mediante la recta de economía de cada deportista se dispone, en consecuencia, de la estimación de la demanda de O_2 que se requiere para

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

realizar cualquier intensidad supramáxima del esfuerzo. De esta forma, midiendo la intensidad y el VO_2 real en una prueba supramáxima, la diferencia entre la demanda de O_2 correspondiente a una determinada intensidad supramáxima y el VO_2 medido corresponde al déficit máximo de O_2 acumulado, que corresponde a la aportación al requerimiento energético del metabolismo anaeróbico. Originalmente, la prueba de esfuerzo supramáxima debe producir el agotamiento en un tiempo de 2-3 min, aunque, como hemos visto en este capítulo, también se ha aplicado para esfuerzos inferiores a 1 min.

Un menor requerimiento energético para la misma velocidad de desplazamiento indica una mejor economía del esfuerzo. Igualmente, si para una misma velocidad de desplazamiento disminuye el déficit de O_2 acumulado manteniéndose el requerimiento energético, ello indica una mayor contribución del metabolismo aeróbico, como consecuencia de una mejora de la cinética del VO_2 y/o del VO_2 máx. Además de la complejidad del protocolo en diferentes días, hay que considerar que la eficiencia mecánica en esfuerzos muy intensos puede ser diferente a la de un esfuerzo submáximo, falseando el cálculo de la energía utilizada. En este sentido, un factor de error estaría asociado a la extrapolación del VO_2 de valores submáximos a valores supramáximos, y en el caso del protocolo simplificado, en la obtención de uno de los puntos de la línea de cálculo energético sobre la base de datos estadísticos.

Determinación de la cinética del VO_2

La cinética del VO_2 se ha considerado un factor de rendimiento en esfuerzos de ~ 30 seg a 4-5 min. Por tanto, la **determinación de la cinética del VO_2** requiere valorar el VO_2 durante la ejecución de una **prueba a la máxima intensidad para una duración de ~ 30 seg a 4-5 min**. De esta forma, independientemente de conocer el déficit de O_2 acumulado, una mejora de la cinética del VO_2 es indicativa de una mayor contribución del metabolismo aeróbico.

Estimación del metabolismo anaeróbico mediante la

concentración de lactato durante la recuperación

Debido a que el lactato proviene del metabolismo anaeróbico, la **determinación de la concentración de lactato en el período de recuperación** se ha considerado un indicador de la utilización del metabolismo anaeróbico láctico durante el esfuerzo. De hecho, en este manual se han establecido referencias de la concentración de lactato asociada a las distintas duraciones de un esfuerzo máximo continuo. Además, este método tiene la ventaja de su fácil aplicabilidad en condiciones asociadas al entrenamiento y la competición. Sin embargo, desde una perspectiva científica hay que considerar que la concentración máxima de lactato en el período de recuperación tiene una **baja fiabilidad** (Heugas *et al.*, 1997; Brisswalter y Legros, 1994) y **escasa validez** como criterio de identificación de la contribución anaeróbica de un esfuerzo. En este sentido, Calbet y Gorostiaga (1998) afirman que, para que las mediciones de lactacidemia tras el esfuerzo de alta intensidad sean representativas de la participación del metabolismo anaeróbico, se deberían cumplir las siguientes condiciones: (i) que el nivel de lactacidemia alcanzado al final del test y/o su evolución durante la recuperación reflejen el grado de participación de la glucólisis durante el ejercicio, aunque esto no es así porque el lactato no se difunde libremente desde el interior de las fibras musculares al espacio extracelular; (ii) que fuese posible estimar con precisión el volumen de distribución del lactato que ha pasado efectivamente al espacio extracelular; (iii) que en el tiempo transcurrido desde la finalización del esfuerzo hasta el momento en el que se alcanza el pico de lactacidemia la eliminación de lactato fuese mínima, mientras que en realidad ocurre lo contrario, ya que una parte del lactato producido es eliminado en los momentos iniciales del postesfuerzo, y (iv) que el aumento de la utilización del metabolismo anaeróbico se asocie a un aumento de la lactacidemia durante la recuperación, aunque esto no tiene que ser siempre así puesto que no se controla la capacidad de eliminación de lactato. Además, hay que considerar que en esfuerzos de alta intensidad una mayor concentración de lactato no está siempre asociada a una optimización de la adaptación del deportista. Es cierto que hay estudios en los que se ha encontrado una fuerte asociación entre la concentración de lactato y el rendimiento en una carrera de 100 m (Fujitsuka *et al.*, 1982), 200 m (Locatelli, 1996; Hautier *et al.*, 1994) y 400 m (Legaz-Arrese, 2000; Hirvonen *et al.*, 1992; Fujitsuka *et al.*, 1982), pero estas correlaciones no se

han observado en otros estudios, y además de la posible influencia de la homogeneidad de las muestras, es posible establecer reflexiones teóricas que indican que una mayor concentración de lactato no tiene por qué asociarse al rendimiento. En un esfuerzo de ~ 10 seg es probable que durante la primera parte deportistas con menor potencia aláctica y peor rendimiento utilicen en mayor proporción la vía láctica, y que, en consecuencia, al finalizar la prueba su concentración de lactato sea superior. En pruebas de 15 a 45 seg, independientemente de la cinética del VO_2 de los deportistas, es más probable que una mayor concentración de lactato indique un mayor rendimiento, asociado tanto a la potencia anaeróbica láctica del deportista como a su eficiencia inherente a una adecuada tolerancia a concentraciones muy elevadas de lactato. Pero incluso en esfuerzos próximos a los 45 seg se han observado valores de lactato durante la recuperación muy superiores a los correspondientes teóricamente a la marca realizada (Legaz-Arrese, 2000). Así, Gorostiaga *et al.*, (2003) consideran que en deportistas de elite la relación entre el pico de lactato durante la recuperación y la velocidad en una carrera de 400 m puede diagnosticar posibles carencias de un deportista que ayudarían a prescribir el entrenamiento. Por ejemplo, si un corredor presenta durante la recuperación de una competición oficial valores de lactato muy superiores a los que corresponden a su marca, se puede pensar que el deportista ha incidido excesivamente en la mejora del potencial de su metabolismo anaeróbico y poco en la técnica de carrera y/o en el metabolismo aeróbico. Por el contrario, si presenta unos valores muy inferiores a los de su marca, ello sugiere que su potencial aeróbico y su técnica son óptimas, mientras que su potencial anaeróbico es malo. Por tanto, aunque para estas duraciones del esfuerzo una mayor concentración de lactato puede ser un indicador de una optimización del rendimiento, los resultados deben interpretarse con prudencia y asociados siempre a las características individuales de cada atleta y a los posibles efectos de las características del entrenamiento realizado en cada momento de la temporada. Para esfuerzos superiores a 45 seg, la concentración de lactato es muy dependiente de las diferencias de los deportistas en cuanto a su perfil fisiológico aeróbico y anaeróbico, perdiendo validez para identificar la adaptación de los deportistas y reorientar el entrenamiento.

Estimación del metabolismo anaeróbico mediante

parámetros mecánicos en pruebas de distinta duración

Desde su creación a mediados de los años 1970 en el Departamento de Investigación y Medicina del Deporte del Instituto de Wingate, Israel (Ayalon *et al.*, 1974), el **test de Wingate** ha sido el más utilizado para valorar el metabolismo anaeróbico de los deportistas. El test consiste en pedalear a la máxima intensidad posible ante una resistencia constante durante un período de 30 seg. La fuerza de frenado se ha estandarizado en $45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ para un cicloergómetro Fleisch y en $75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ para un cicloergómetro Monark. En ciclistas de pista y de BMX se requiere la valoración contra una resistencia superior ($\sim 100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Terreros y Navas, 2003). También se ha modificado este test para la valoración de las extremidades superiores, estandarizándose $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente, para los cicloergómetros Fleisch y Monark. Los indicadores de rendimiento se asocian a la **potencia máxima** desarrollada (durante 5 seg o en una única pedalada), a la **potencia media** y al **índice de fatiga** que relaciona las potencias máxima y mínima en períodos de 5 seg. Aunque este test se considera altamente fiable, sobre todo para la potencia máxima, y se utiliza con frecuencia en protocolos de investigación, sus resultados únicamente son **indicadores de la potencia metabólica** y su índice de fatiga, independientemente de la vía metabólica. Recordemos que, en este test, durante los últimos 15 seg la **contribución aeróbica** incluso es superior a la del metabolismo anaeróbico (véase la figura 4.15). Desde esta perspectiva, este test es adecuado para reorientar el entrenamiento en función de la comparación de los valores de potencia y su interrelación con el índice de fatiga. Sin embargo, la reorientación del entrenamiento y su aplicación sólo serán válidas para las **modalidades deportivas con similitud motriz** a la del test. Así, por ejemplo, Legaz-Arrese *et al.*, (2009b) observaron que en un grupo homogéneo de corredores de elite no existe asociación entre ningún indicador del test con el rendimiento en competición de carreras de atletismo de 100, 400, 800 y 1.500 m. Además, lo más interesante de los resultados observados en este estudio es que se demostró que el test de Wingate no tiene ni siquiera validez para diferenciar entre un corredor de 100 y otro de 400 m. Así, mientras se esperaba que los corredores de 100 m tuviesen valores superiores de potencia máxima que los corredores de 400 m, y que éstos tuviesen valores superiores de potencia media, no hubo diferencias significativas entre ambos grupos para ambas variables.

De modo similar al test de Wingate, se han estandarizado otras pruebas en

cicloergómetro como indicadores del metabolismo anaeróbico, como son el **test de Quebec**, que consiste en pedalear a la máxima frecuencia durante un período de 10 seg, y el **test de Debruym-Prevost y Sturbois** (1984), que consiste en medir el tiempo que un deportista es capaz de mantener el pedaleo a una potencia (400 W para hombres y 350 W para mujeres) y frecuencia fijas (124-128 rpm para hombres y 104-108 rpm para mujeres). Este test tiene una duración aproximada de 40-45 seg. De forma análoga, también se han establecido tests similares para su aplicación en cinta ergométrica, como son el **test de Cunningham y Faulkner** (1969), que consiste en determinar el tiempo que un deportista es capaz de mantener una carrera a una pendiente del 20% a una intensidad constante de 8 millas.h⁻¹ (un promedio de 80 y 40 seg, respectivamente, para hombres y mujeres), o el **test de Schnabel y Kinderman** (1983), que consiste básicamente en determinar el incremento de lactato al realizar un protocolo en cinta ergométrica con pendiente del 7,5% e intensidad constante (22 y 19 km.h⁻¹ para hombres y mujeres, respectivamente) para una duración fija (40 seg) y la máxima duración posible (~ 90 seg). Como se ha indicado anteriormente, la aplicación de estos tests es exclusiva para las **modalidades deportivas que tengan similitud en la motricidad** relativa al test, y los indicadores mecánicos son el reflejo de la **potencia asociada a distintas vías metabólicas**. De hecho, es conocido que la simple ejecución de un salto vertical está asociada a un incremento significativo de la concentración de lactato (Chamari *et al.*, 2001) y que en un esfuerzo máximo de 6 seg aproximadamente el 50% de la energía proviene del metabolismo láctico (Gaitanos *et al.*, 1993), demostrando que incluso en esfuerzos máximos de una duración de milisegundos es imposible aislar el metabolismo aláctico del metabolismo láctico. Así, los resultados obtenidos en **tests máximos de muy corta duración (< 10 seg)** se deben considerar unos indicadores indirectos del sumatorio de la **potencia aláctica y láctica**, incluso para los test con una duración superior a 6 seg como resultado de la **capacidad anaeróbica aláctica**. En cierto modo, todos los tests descritos para la valoración de la fuerza explosiva son indicadores de la potencia metabólica del deportista. Como la máxima potencia del metabolismo láctico se asocia a esfuerzos de una duración máxima de 6 seg (Parolin *et al.*, 2000), los resultados mecánicos obtenidos en los **tests máximos de una duración superior a 6-10 seg** son indicadores de la **eficiencia anaeróbica láctica** del deportista asociada a la tolerancia a la concentración de lactato, y adicionalmente son indicadores

también de la **cinética del VO_2** del deportista.

A partir de este análisis, el primer aspecto que se requiere para que un test supramáximo tenga utilidad para reorientar el entrenamiento es que se ejecute con la motricidad específica del deporte. El siguiente criterio para seleccionar un test suprámaximo es el objetivo que se pretende obtener con sus resultados. Para algunas modalidades deportivas, por ejemplo, para los **esfuerzos de una duración de 2-6 min**, puede ser útil únicamente conocer la potencia metabólica, independientemente del metabolismo utilizado, que un deportista es capaz de desarrollar en un esfuerzo próximo a los 30-45 seg. De esta forma, incluyendo la valoración también de parámetros aeróbicos como el VO_2 máx. y la VAM, podemos tener un perfil fisiológico del deportista que nos permita reorientar el entrenamiento. Desde esta perspectiva, puede ser más interesante para este tipo de esfuerzos conocer únicamente la potencia desarrollada o el tiempo requerido o la distancia cubierta realizando el esfuerzo a una intensidad constante durante toda la prueba, que realizar la máxima intensidad posible desde el inicio, como, por ejemplo, medir simplemente el tiempo necesario para recorrer una distancia de 300 m en atletismo. En cambio, para **esfuerzos de una duración inferior a 2 min**, puede ser interesante conocer la potencia metabólica del deportista para distintas duraciones del esfuerzo con el fin de diferenciar la potencia que es capaz de desarrollar en pruebas con mayor predominio del metabolismo anaeróbico y en pruebas con equivalente contribución del metabolismo anaeróbico y aeróbico. En este sentido, es posible utilizar dos métodos diferenciados. El primero consiste en realizar únicamente un test de una duración de 30-45 seg desarrollando la máxima intensidad posible desde el inicio del esfuerzo. Así, tal y como se ha descrito para el test de Wingate, se obtiene la potencia metabólica máxima desarrollada, la potencia media y el índice de fatiga. En el caso de otras modalidades deportivas es posible aplicar un test, por ejemplo, de 300 m en atletismo, ejecutado a la máxima intensidad posible desde el inicio, y mediante, por ejemplo, células fotoeléctricas determinar la disminución de la velocidad de desplazamiento en función de los distintos tramos del esfuerzo. El segundo método, que permite obtener similares resultados para reorientar el entrenamiento es la realización a la máxima velocidad constante posible en función de la duración del esfuerzo de dos tests con una duración diferenciada. Por ejemplo, medir en atletismo el tiempo invertido en recorrer 300 m y el tiempo invertido en recorrer 60-100 m. Con ambos métodos, comparando el rendimiento en un esfuerzo corto

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

y en uno de mayor duración, se dispone de datos suficientes del perfil fisiológico asociado a la potencia del metabolismo en esfuerzos de relativamente corta duración, lo que nos permite establecer áreas de deficiencia del deportista que serán objeto de trabajo mediante la aplicación de los métodos de entrenamiento apropiados. Para modalidades deportivas caracterizadas por un **esfuerzo inferior a 10 seg**, es suficiente realizar una prueba específica para cada deporte de una duración similar. Sin embargo, para estos esfuerzos, el rendimiento en la prueba o en otras pruebas con menor similitud al gesto motor (como el tradicional test de Margaria-Kalamen) sólo es indicativo de que el rendimiento del deportista ha mejorado o empeorado, careciéndose de información más específica para reorientar el entrenamiento. Por este motivo, para estos esfuerzos de tan breve duración se recomienda realizar además los tests de fuerza apropiados a cada modalidad deportiva previamente especificados en el capítulo 3.

Identificación de la economía en un esfuerzo supramáximo mediante el MART

La insatisfacción ante los resultados obtenidos mediante pruebas anaeróbicas como el test de Wingate para reorientar el entrenamiento de los corredores fue el origen de que un grupo de investigadores finlandeses desarrollaran **the maximal anaerobic running test** (MART) con el fin de realizar una valoración global del **metabolismo anaeróbico** y determinar la **economía del esprín** en los corredores. El protocolo actualmente recomendado, propuesto por Rusko y Nummela (1996), se describe en la figura 4.144, donde además se representa la comparación de los resultados de dos deportistas y los indicadores de valoración del test. Básicamente, el MART es un test de intensidad progresiva hasta el agotamiento asociado a esfuerzos de una duración de sólo 20 seg que se repiten hasta la máxima velocidad desarrollada con descansos de 100 seg. La máxima velocidad desarrollada indica simultáneamente la máxima potencia del metabolismo anaeróbico y, en cierta medida también, la tolerancia al lactato a concentraciones relativamente elevadas. La máxima potencia desarrollada se establece en equivalentes de O₂. Al disponer de datos de la concentración de lactato asociada a distintas velocidades que son superiores a la VAM, es posible identificar la economía del esfuerzo asociada al metabolismo anaeróbico mediante la relación lactato/intensidad. El principal indicador de esta relación

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

se establece como la velocidad correspondiente a una concentración de lactato de $10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

6.4. Evaluación en esfuerzos intermitentes

La evolución que en el marco teórico, en la práctica y en los estudios científicos se ha observado en los últimos años en el análisis de los esfuerzos intermitentes no debe ser ajena al proceso de evaluación de los deportistas de estas modalidades. Esta evolución positiva hacia una mejor comprensión de los esfuerzos intermitentes es todavía insuficiente y quizá poco transferida a la práctica real del proceso de evaluación de estos deportistas.

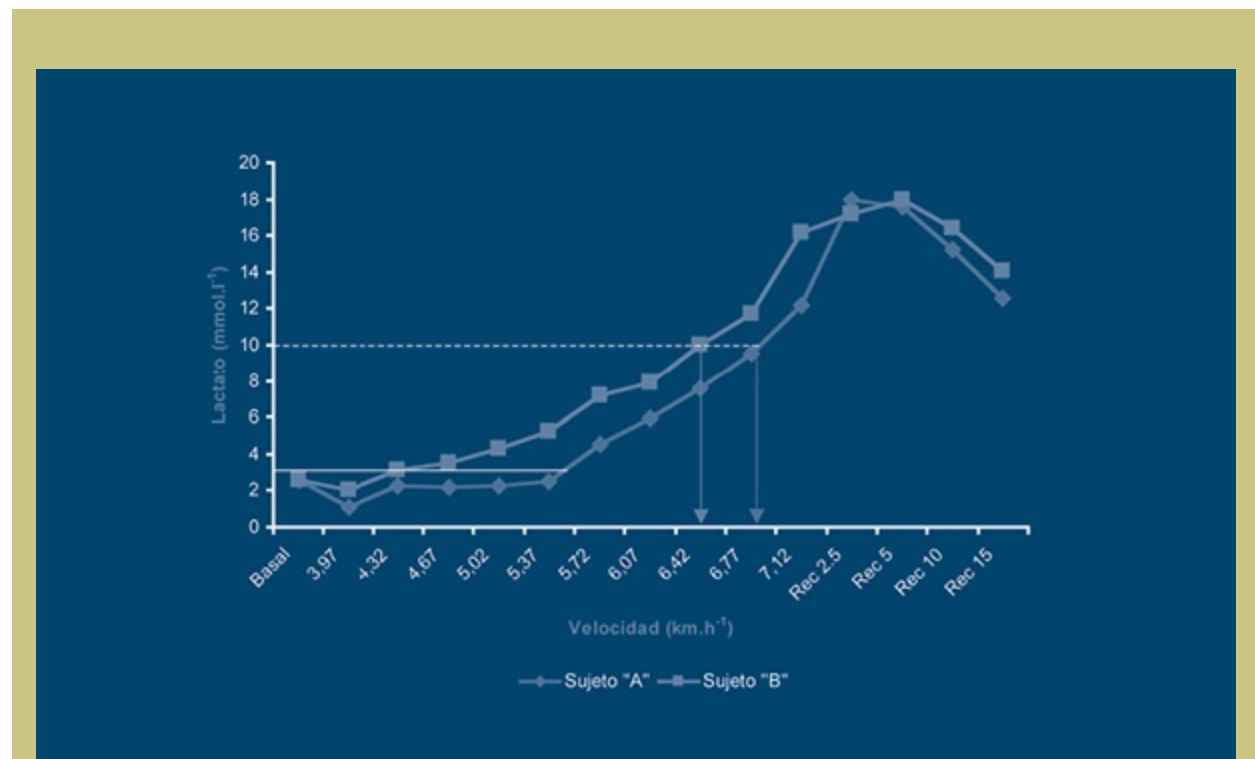


FIGURA 4.144. Determinación de la economía de esfuerzo a intensidad elevada mediante el protocolo del *maximal anaerobic running test* (MART). En la comparación de estos dos deportistas mediante el MART es posible establecer la economía del esfuerzo a intensidades superiores a la VAM mediante la determinación de la velocidad asociada a una concentración de lactato de $10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Véase el texto para un análisis detallado del protocolo.

Adaptado de Rusko HK et al. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1993;66:97-101.

Tradicionalmente, en el **laboratorio** se ha aplicado a estos deportistas
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

similares pruebas a las descritas para los esfuerzos máximos continuos, por ejemplo, una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento para valorar los factores asociados al metabolismo aeróbico y una prueba como el test de Wingate para valorar los factores asociados al metabolismo anaeróbico.

Como para todas las modalidades deportivas, un requisito esencial que debe reunir cualquier prueba seleccionada para la valoración de los esfuerzos intermitentes es que los datos obtenidos realmente sean válidos y aplicables a las características de la modalidad deportiva. En este sentido, hemos resaltado previamente que, por ejemplo, el test de Wingate no tiene validez para determinar la potencia metabólica asociada a esfuerzos de corta duración para corredores de elite. Probablemente, la ausencia de validez está asociada a las diferencias en la motricidad, correr y pedalear. Para los esfuerzos intermitentes, el test de Wingate está además limitado en su validez a que el esfuerzo realizado sea continuo. De hecho, actualmente en la literatura científica se ha mostrado la ausencia de validez del test de Wingate para la valoración del rendimiento en distintas modalidades deportivas asociadas a esfuerzos intermitentes (Bampouras y Marrin, 2009; Aziz y Chuan, 2004; Hoffman *et al.*, 2000).

Como criterio de **control de la salud del deportista**, para los esfuerzos intermitentes debe considerarse obligatoria la ejecución de una **prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento**. Sin embargo, es discutible la utilidad de los parámetros obtenidos mediante esta prueba para determinar la adaptación y reorientar el entrenamiento en los esfuerzos intermitentes. Una prueba de estas características puede ser útil para observar **deficiencias acusadas de parámetros como el VO_2 máx. y el Uan** respecto a los valores normativos de deportistas de las mismas modalidad deportiva y categoría. Un claro ejemplo se muestra en la figura 4.145, en la que se refleja la evaluación conjunta del VO_2 máx. y de la velocidad a nivel del VT2 en un equipo profesional de balonmano (Terreros y Navas, 2003). En este análisis se comparan los valores individuales para ambas variables con los de referencia del laboratorio de origen de este estudio. Así, la tendencia descendente de las líneas de perfil desde el VO_2 máx. hasta el VT2 refleja de modo gráfico la deficiencia del trabajo aeróbico de base de este equipo. Además, un análisis específico para cada jugador nos permite en este sentido reorientar de forma individualizada el entrenamiento para alcanzar los valores óptimos del VO_2

máx. y el Uan requeridos en este deporte.

Sin embargo, como una prueba de esfuerzo de intensidad creciente hasta el agotamiento no se asocia a la motricidad ni a la naturaleza del esfuerzo intermitente, son numerosos los estudios que han intentado dar validez a **pruebas de campo** adaptadas a las características de cada modalidad deportiva para valorar parámetros asociados a la resistencia.

La primera aproximación al respecto fue la introducción de la popular **prueba de la Course-Navette** (Leger y Gadoury, 1989; Leger y Lambert, 1982), que básicamente consiste en correr sucesivamente 20 m en recorridos de ida y vuelta a intensidad progresiva con estadios de 1 min de duración, marcándose el ritmo mediante señales acústicas. Respecto a una prueba de intensidad progresiva en laboratorio o a otras pruebas de campo como el test de Cooper, la prueba de la Course-Navette, debido a que implica continuos cambios de dirección asociados a aceleraciones de menor a mayor intensidad, simula en mayor medida la motricidad de los esfuerzos intermitentes. Sin embargo, la validez de la prueba de la Course-Navette para valorar la resistencia en los esfuerzos intermitentes es fácilmente criticable porque **no implica una sucesión continua de esfuerzos y pausas** activas o pasivas.

Con el fin de solucionar las limitaciones de la prueba de la Course-Navette, actualmente para valorar la resistencia en los esfuerzos intermitentes se han desarrollado, para la mayoría de las modalidades deportivas, **pruebas que simulan las fases de esfuerzo-recuperación**. El objetivo de este apartado no es realizar una descripción de los diferentes tests desarrollados para las distintas disciplinas deportivas (el lector interesado puede encontrar esta documentación en libros específicos y en los artículos científicos). Sin embargo, es posible establecer un análisis sobre los criterios comunes considerados para el desarrollo y la validez de estos tests. Básicamente, el diseño de las pruebas realizadas para las distintas modalidades deportivas tiene por objeto valorar la **resistencia intermitente de larga duración** y la **resistencia intermitente de corta duración**. Un claro exponente de estos objetivos son los tests desarrollados para valorar la resistencia en fútbol por el grupo de trabajo de Bangsbo: para evaluar la capacidad de resistencia intermitente de larga duración (el test de la capacidad de resistencia intermitente o test de Bangsbo y el test Yo-Yo) y para evaluar la capacidad de resistencia intermitente de corta duración (el test de esprín de Bangsbo y el test Yo-Yo de recuperación). A continuación se describen brevemente para establecer **ejemplos de referencia** las características de estos tests y se

realiza un análisis crítico que permitirá al lector diferenciar la validez de los diferentes tests propuestos para las distintas modalidades deportivas.

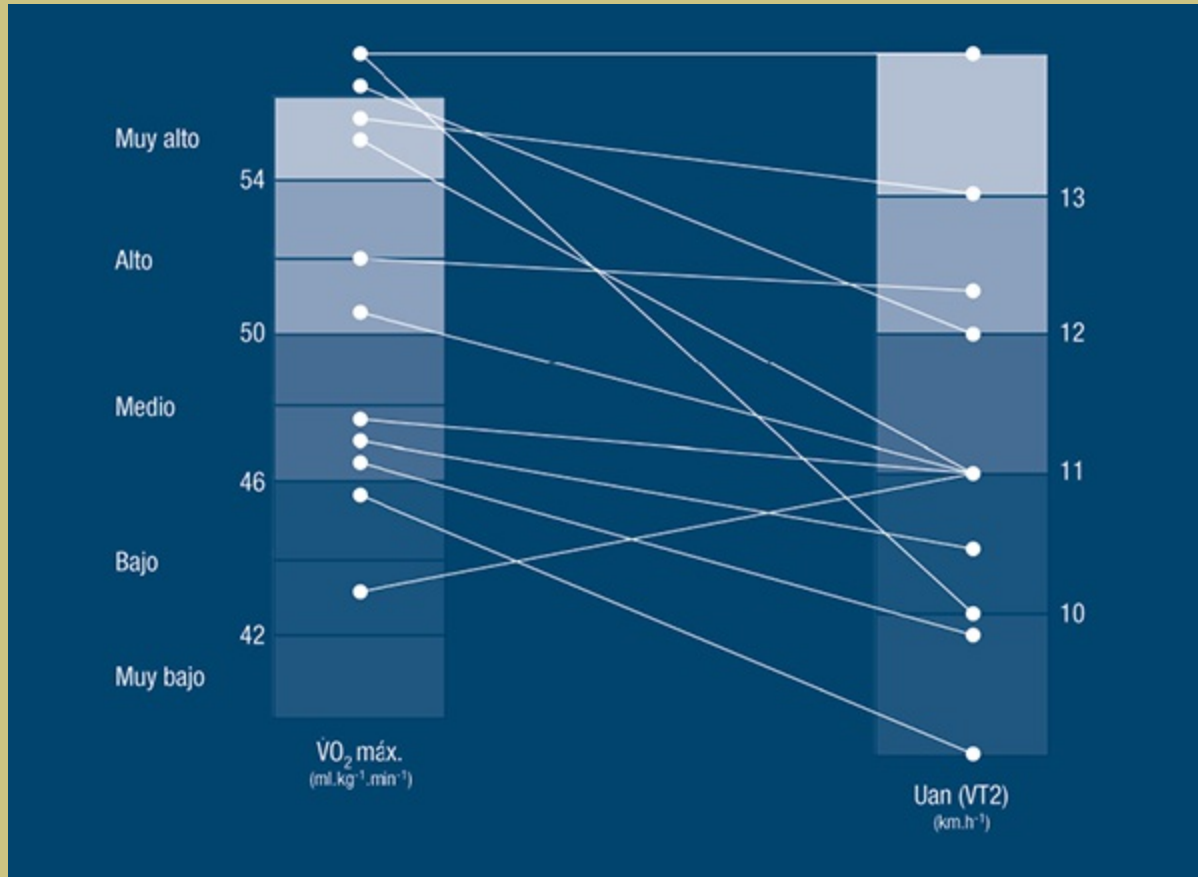


FIGURA 4.145. Ejemplo de reorientación del entrenamiento en un equipo de elite masculino de ba-lonmano mediante la interrelación de los valores de $\dot{V}O_2$ máx. y Uan con datos de referencia. Aunque una prueba de esfuerzo de intensidad progresiva hasta el agotamiento no es la más específica para la valoración de la resistencia en los esfuerzos intermitentes, es posible identificar, mediante la comparación relativa respecto a valores de referencia, parámetros deficientes de los deportistas que pueden ayudar a reorientar el entrenamiento. Sin embargo, los valores del $\dot{V}O_2$ máx. y el Uan deben relacionarse con parámetros más específicos de rendimiento para tomar una decisión sobre la reorientación del entrenamiento.

Adaptado de Terreros JL y Navas F. Valoración funcional. Gymnos, 2003.

El **test de resistencia intermitente de Bangsbo** (figura 4.146) consiste en un circuito que abarca el área de penalti (160 m) e incluye la carrera hacia delante, hacia atrás, de lado y en eslalon. Básicamente, el deportista debe realizar sucesivamente carrera de alta intensidad durante 15 seg seguida de 10

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

seg de trote hasta completar 40 períodos de carrera de alta intensidad (10 min) y 31 períodos de trote (6,5 min). En el período de baja intensidad, el deportista debe desplazarse hasta el área central, volviendo nuevamente hacia el último cono/poste pasado para continuar el esfuerzo de alta intensidad. El resultado del test es la distancia recorrida. El control del tiempo de esfuerzo de alta y baja intensidad se realiza mediante cinta grabadora (Bangsbo, 2008).

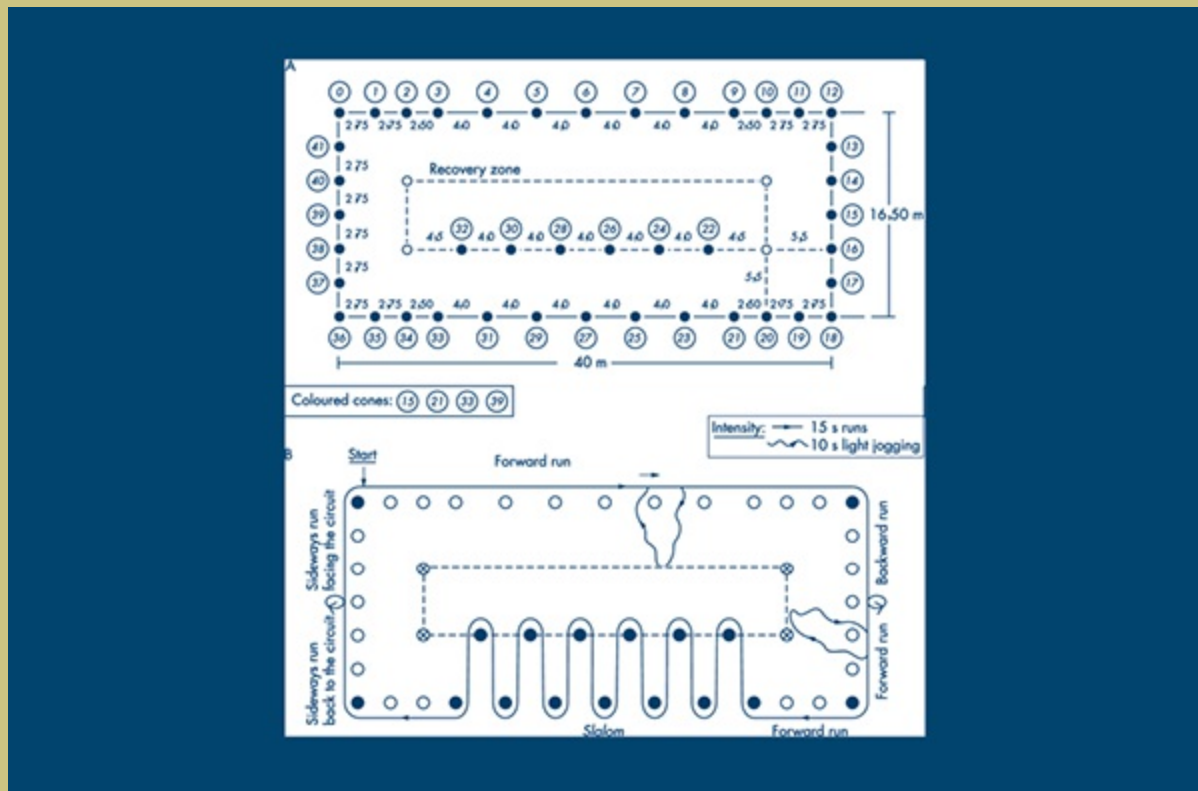


FIGURA 4.146. Test para evaluar la capacidad de resistencia intermitente de larga duración (test de Bangsbo). Véase el texto para un análisis detallado del protocolo y de los indicadores de evaluación.

Reproducido, con permiso, de Chamari K, et al. Br J Sports Med 2004;38:191-6.

El **test Yo-Yo** es una adaptación de la prueba de la Course-Navette. Los jugadores realizan carreras de relevos de 20 m, separadas por un período de recuperación de 5 seg en el que los deportistas realizan trote. La intensidad se incrementa progresivamente, finalizando el test cuando el deportista no puede mantener la velocidad. La duración del test está comprendida entre 10 y 20 min.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

El **test de esprín de Bangsbo** (figura 4.147) consiste en efectuar un esprín máximo de 34,2 m (entre A y B, véase la figura) y luego realizar un trote suave de 25 seg (entre B-C-D, véase la figura), realizando este circuito en 7 ocasiones consecutivas. Se registra el tiempo de cada repetición.

El **test Yo-Yo de recuperación intermitente** tiene la misma dinámica que el test Yo-Yo, pero en este caso la intensidad es más elevada y el tiempo de recuperación aumenta a 10 seg. La duración del test es de 3 a 15 min.

Desde una perspectiva general, los tests descritos y otros similares adaptados para las distintas disciplinas deportivas pueden ser indicativos de la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes. Sin embargo, desde una perspectiva crítica cabe realizar diversas consideraciones.

Los **tests habitualmente diseñados para valorar la capacidad de resistencia intermitente de larga duración**, como son el test de resistencia intermitente de Bangsbo y el test Yo-Yo, son criticables debido a que **no simulan la ejecución de acciones a la máxima intensidad**, aspecto determinante del rendimiento en la mayoría de los esfuerzos intermitentes. En este sentido, aunque en el test de resistencia intermitente de Bangsbo se instruye a los deportistas para que realicen la máxima intensidad posible, la ejecución de 40 períodos de alta intensidad con descanso de 10 seg obligatoriamente implica una regulación del esfuerzo que determina una intensidad relativamente baja. Además, atendiendo al análisis de la competición, un período de 15 seg de alta intensidad se debe considerar excesivo. De forma general, puede concluirse que este tipo de tests valora la capacidad de resistencia de base, pero no la resistencia específica de los esfuerzos intermitentes, especialmente para las modalidades deportivas o puestos específicos en los que la ejecución de acciones a la máxima intensidad es frecuente. Además, estos tests nos aportan un único resultado, que puede ser útil para una comparación relativa entre jugadores o el mismo jugador en diferentes momentos, pero que en relación con otros tests resulta **insuficiente para una reorientación específica del entrenamiento**. Básicamente, estos tests se caracterizan por buscar **ecuaciones de predicción del $\dot{V}O_2$ máx.** simulando en cierto modo las características de la modalidad deportiva. Desde esta perspectiva, se han desarrollado tests para diferentes modalidades deportivas como squash (Micklewright y Papadopoulos, 2008), tenis (Girard *et al.*, 2006b) y hockey sobre hielo (Durocher *et al.*, 2008; Leone *et al.*, 2007).

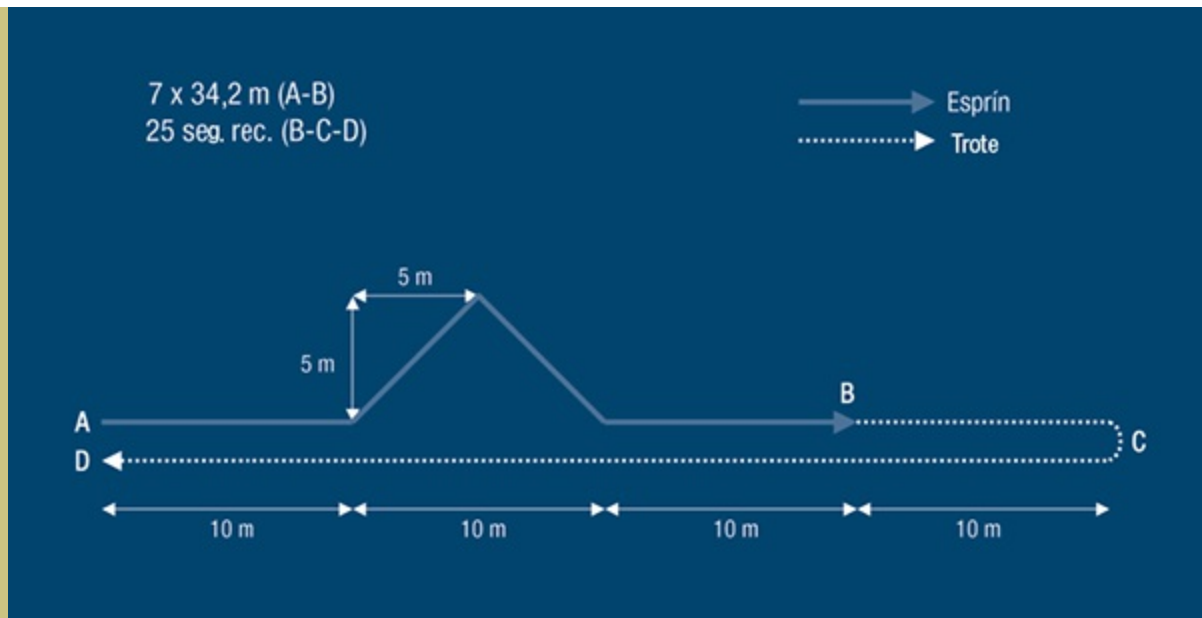


FIGURA 4.147. Test para evaluar la capacidad de resistencia intermitente de corta duración en jugadores de fútbol (test de esprín de Bangsbo). Véase el texto para un análisis detallado del protocolo y de los indicadores de evaluación.

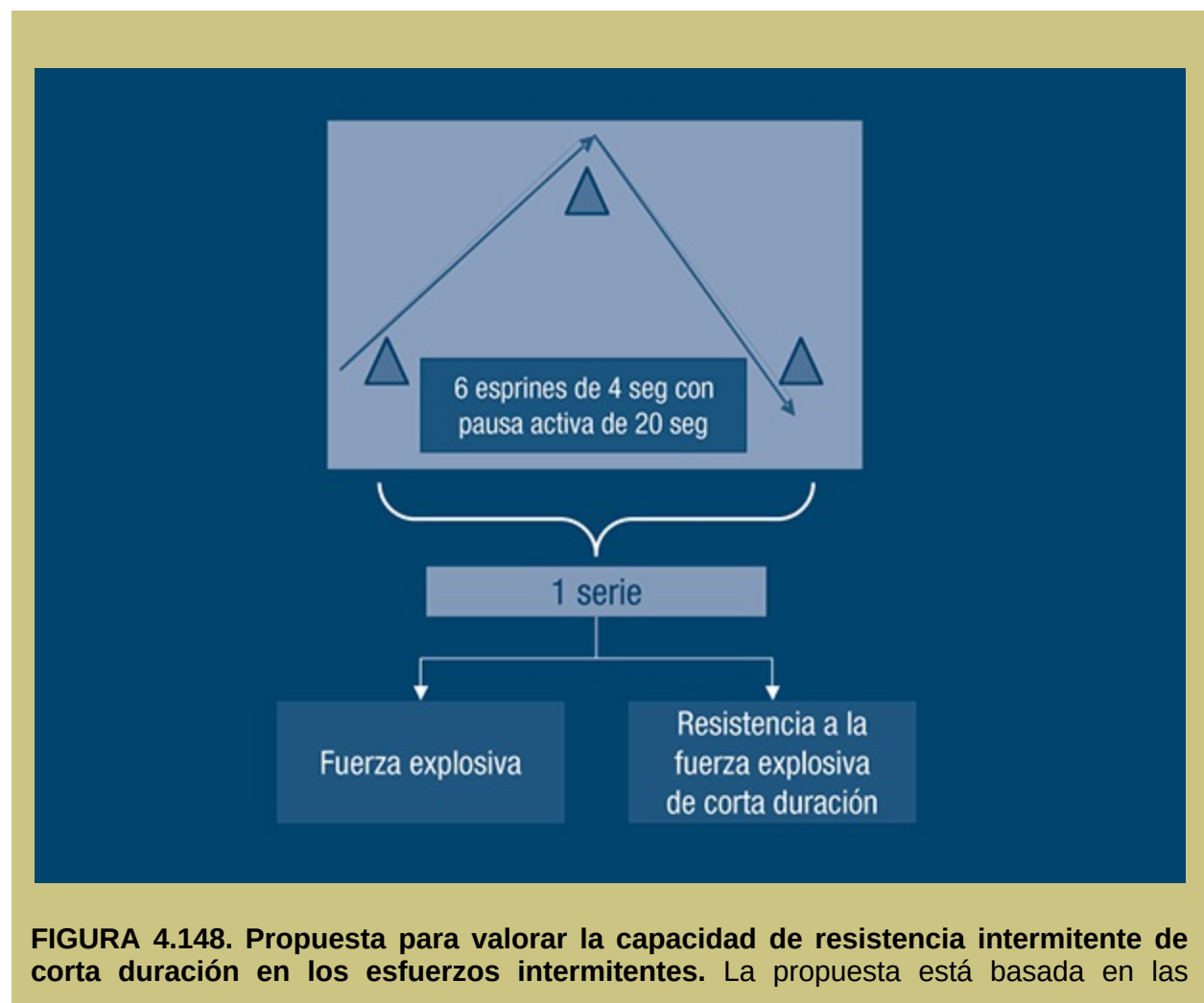
Adaptado de Bangsbo J. Entrenamiento de la condición física en el fútbol. Paidotribo, 2008.

Desde nuestra perspectiva, los **tests habitualmente diseñados para valorar la capacidad de resistencia intermitente de corta duración** como el test de esprín de Bangsbo son más **indicativos de la resistencia específica** de los esfuerzos intermitentes y la resistencia a la fuerza explosiva, incluida la sucesión de acciones ejecutadas a la máxima intensidad con períodos de descanso. Además, este tipo de test permite simultáneamente determinar el **efecto final del entrenamiento y los efectos parciales** de una forma más evidente, haciendo posible la reorientación individualizada del entrenamiento al obtenerse simultáneamente valores asociados a la **fuerza explosiva** y al **índice de fatiga**. Básicamente, deportistas con relativamente un óptimo nivel de fuerza explosiva pero un índice deficiente de fatiga deberían incidir en el entrenamiento de la capacidad de resistencia a la fuerza explosiva. En cambio, deportistas con un índice adecuado de fatiga y un nivel deficiente de fuerza explosiva deberían incidir en el desarrollo de la fuerza explosiva.

El principal aspecto que se ha de considerar en el **diseño de los tests asociados a la capacidad de resistencia intermitente de corta duración** es su simulación con las situaciones que demanda la competición. Se ha justificado previamente la importancia de ajustar el entrenamiento de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

resistencia a la fuerza explosiva a los condicionantes de las fases de la competición que requieren mayor exigencia. En esta línea, desde nuestra perspectiva, la **simulación de la fase de mayor exigencia de cada modalidad deportiva** debe definir los componentes del test, lo que justifica nuevamente la importancia de realizar este tipo de análisis específico de la competición para las distintas modalidades deportivas. Atendiendo al análisis de Spencer *et al.*, (2004) sobre las fases de mayor exigencia en hockey sobre hierba, se representa en la figura 4.148 un ejemplo de test para la valoración de la resistencia a la fuerza explosiva en este deporte, que puede ser transferido para su aplicación a otros deportes con similar contexto de competición. En este sentido, por ejemplo, atendiendo al análisis de la competición de fútbol, en el test de esprín de Bangsbo la distancia del esprín (34,2 m) y el tiempo de recuperación (25 seg) pueden considerarse ligeramente excesivos.



*****ebook converter DEMO Watermarks*****

características de las fases de la competición de mayor exigencia establecida previamente para hockey sobre hierba. De acuerdo con este análisis, es posible ejecutar menos repeticiones estableciendo un período de descanso inferior. Compruébese la especificidad de esta prueba al valorar el nivel máximo de exigencia requerida en competición y la simultánea determinación de la fuerza explosiva. Considérese su adaptación a otras modalidades deportivas y la necesidad de establecer su validez y fiabilidad.

Original del autor.

Se sabe que en la competición de la mayoría de los esfuerzos intermitentes las fases de mayor intensidad van seguidas continuamente por períodos de competición de menor intensidad. En este sentido, el principal argumento de crítica de los tests diseñados para valorar la resistencia intermitente de corta duración es que únicamente valoran la capacidad de resistencia de un deportista para una única fase de intensidad elevada. En consecuencia, el **diseño de los tests asociados a la capacidad de resistencia intermitente de larga duración** debe considerar la inclusión de la **repeticón sucesiva de un test de resistencia intermitente de corta duración** (como el propuesto en la figura 4.148), incluyendo entre los tests la realización durante 3-5 min de un circuito caracterizado por pausas pasivas y pausas activas a distintas intensidades (figura 4.149). Este tipo de test es probablemente el más específico para valorar la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes, ya que se puede disponer simultáneamente de índices de la **fuerza explosiva**, de la **resistencia a la fuerza explosiva de corta duración** y de la **resistencia a la fuerza explosiva de larga duración**, y, en consecuencia, teóricamente disponer de los mejores datos para reorientar el entrenamiento en los esfuerzos intermitentes.

Para que se considere útil, el test propuesto requiere lógicamente una validación previa. Los **criterios utilizados para validar los tests** diseñados para valorar la capacidad de resistencia en un esfuerzo intermitente dan lugar a otro interesante debate. Tradicionalmente, la validación de los tests de resistencia intermitente de larga duración se ha realizado en referencia a la medida del **VO₂ máx. real** del deportista. Aunque los niveles de VO₂ máx. pueden estar asociados a una mejora de la recuperación entre esfuerzos de exigencia elevada, se ha justificado previamente que, excepto en deportistas con deficiencia clara, el VO₂ máx. no es un factor especialmente determinante de la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes. Aunque no existe una medida exacta del rendimiento físico en los esfuerzos intermitentes, se ha demostrado que el número de **esfuerzos a alta**

intensidad durante la competición es un buen indicador de aquél (Mohr *et al.*, 2003). Así, por ejemplo, Krustup *et al.*, (2003) observaron una correlación significativa entre el rendimiento en el test Yo-Yo de recuperación intermitente y el correr a alta intensidad durante un partido de fútbol ($r = 0,71$), lo que sugiere, en este caso, que este test es una medida válida de la capacidad de resistencia de los jugadores de fútbol. Además, en relación con otras medidas, los autores mostraron que el test Yo-Yo de recuperación intermitente es sensible a los efectos del entrenamiento, incrementándose marcadamente (22%) su rendimiento durante 5,5 semanas de la preparación, mientras que el incremento del VO_2 máx. fue únicamente un 4%. Similares resultados observaron Krustup y Bangsbo (2001) durante la ejecución de un programa de entrenamiento intermitente de 8 semanas en árbitros de fútbol: una mejora del 31%, 3% y 23%, respectivamente, para el rendimiento en el test Yo-Yo de recuperación intermitente, el VO_2 máx. y las carreras de alta intensidad en los partidos.

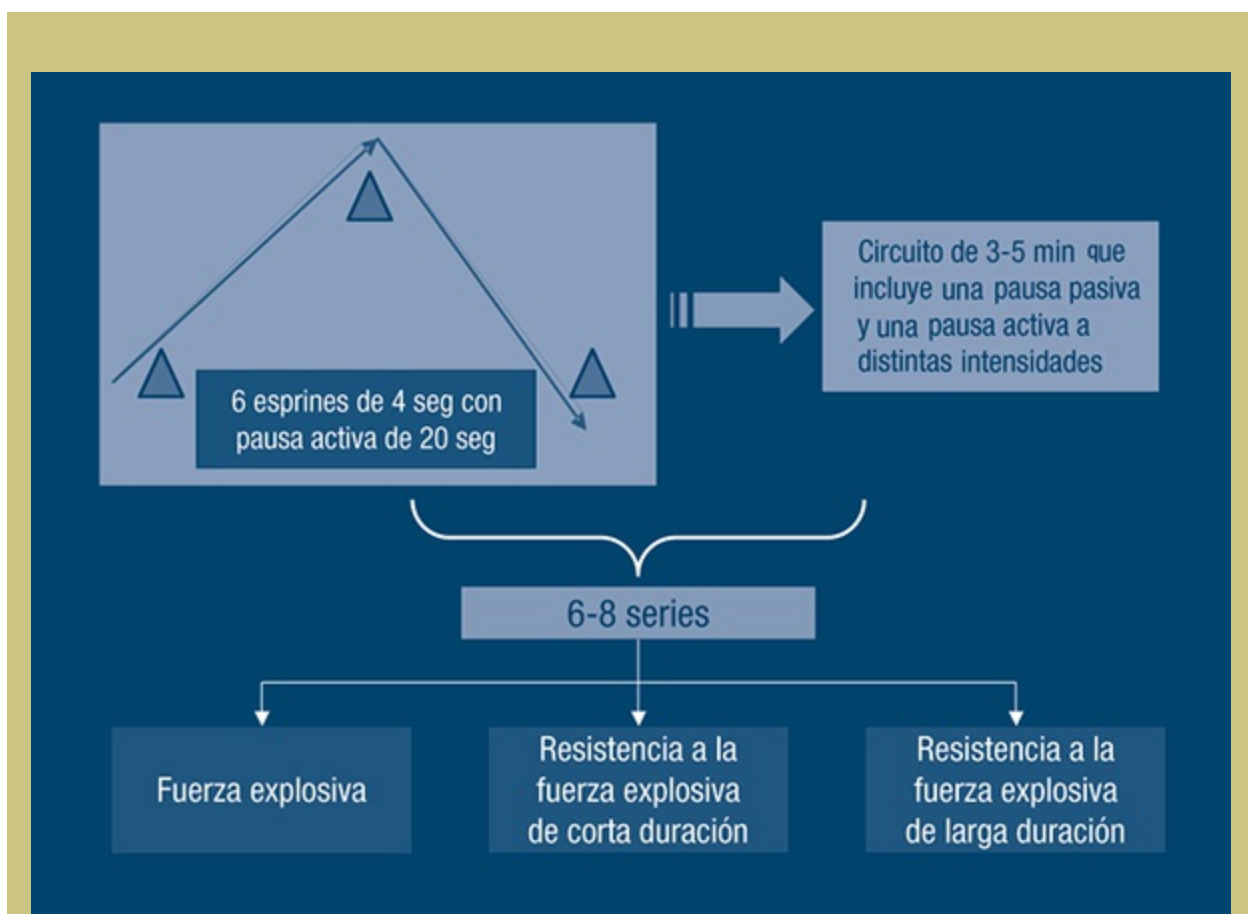


FIGURA 4.149. Propuesta para valorar la capacidad de resistencia intermitente de
 *****ebook converter DEMO Watermarks*****

corta y larga du-ración en los esfuerzos intermitentes. La ejecución de varias series, estableciendo períodos de recuperación de pausa activa y pausa pasiva, de la prueba de resistencia intermitente de corta duración propuesta anteriormente permite valorar además la resistencia a la fuerza explosiva de larga duración. Véanse la especificidad de esta prueba y su utilidad para reorientar el entrenamiento, así como su adaptación a otras modalidades deportivas y la necesidad de establecer su validez y fiabilidad.

Original del autor.

A partir de estos análisis, entre los diferentes tests que se han propuesto para cada modalidad deportiva con el objetivo de valorar la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes, el lector debe seleccionar los que considere apropiados en función de que simule lo más posible las exigencias de la competición y, específicamente, de que la validación se haya realizado según criterios de rendimiento de la competición.

Independientemente de la elección del mejor test para determinar la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes, consideramos que, si la validez de estos tests debe realizarse en referencia a las carreras de alta intensidad que el deportista es capaz de efectuar en la competición, es probable que los **indicadores de resistencia en competición** reflejen de forma más contextualizada la capacidad de resistencia en los esfuerzos intermitentes. En este sentido, el avance tecnológico en el análisis de la competición y en la obtención de datos instantáneos permite realizar un seguimiento de la capacidad de resistencia en la propia competición, especialmente en las modalidades deportivas que tengan frecuentes competiciones.

Síntesis

- El efecto final del entrenamiento de resistencia únicamente se puede establecer mediante el rendimiento en competición o pruebas que la simulen y mediante el continuo análisis del rendimiento en el proceso de entrenamiento.
- Los efectos parciales del entrenamiento de resistencia requieren la valoración de los distintos factores que determinan el rendimiento en competición.
- Las pruebas de intensidad progresiva hasta el agotamiento son imprescindibles para controlar la respuesta saludable del deportista en

esfuerzo.

- ▶ Una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento es muy eficaz, ya que permite valorar la mayoría de los factores que determinan el rendimiento en un esfuerzo continuo.
- ▶ En un protocolo adecuado se obtiene una validez óptima mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento para valorar parámetros asociados al esfuerzo máximo como el VO_2 máx. y la VAM. Sin embargo, la validez disminuye para los parámetros asociados a una intensidad submáxima.
- ▶ La validez de parámetros asociados al esfuerzo submáximo como la economía del esfuerzo, la eficiencia y el $\dot{V}_{\text{O}_2}$ requiere protocolos específicos asociados a una mayor duración del esfuerzo en cada intensidad y la consideración de la variación de estos parámetros con la fatiga.
- ▶ Para esfuerzos que demandan más energía de la que puede ser satisfecha por el VO_2 máx. se requiere la determinación mediante pruebas supramáximas de parámetros mecánicos que aporten información indirecta sobre el potencial anaeróbico del deportista. Estas pruebas deben seleccionarse considerando la motricidad y duración del esfuerzo y según el objetivo concreto de la evaluación.
- ▶ Para los esfuerzos intermitentes, la prueba de mayor validez para valorar la resistencia debe considerar su rendimiento en la propia competición.
- ▶ En los esfuerzos intermitentes también se puede valorar la resistencia mediante pruebas que consideren la motricidad específica y los componentes del entrenamiento de las fases de la competición de mayor exigencia.

Cuestionario de asimilación

1. Justifica cómo determinarías el efecto final del entrenamiento de resistencia en una modalidad deportiva caracterizada por un esfuerzo máximo continuo y en una modalidad deportiva caracterizada por esfuerzos intermitentes.
2. Indica las variables que evaluarías para determinar el efecto del

entrenamiento de resistencia en un esfuerzo máximo continuo de 4 min.

3. Señala las variables que evaluarías para determinar el efecto del entrenamiento de resistencia en un esfuerzo máximo continuo de 20 min.
4. Indica las variables que evaluarías para determinar el efecto del entrenamiento de resistencia en un esfuerzo máximo continuo de 1 h y 30 min.
5. Explica qué variables pueden determinarse simultáneamente mediante una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento.
6. Establece las características que debe tener una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento para incrementar la validez de la medición de las variables asociadas al esfuerzo submáximo y máximo.
7. Señala los factores que hay que considerar para incrementar la validez de la determinación de la VAM.
8. Relaciona la velocidad relativa habitualmente observada en la determinación del Uan mediante el VT2, IAT y OBLA.
9. Indica las principales limitaciones de determinar la economía del esfuerzo mediante la relación $\text{VO}_2/\text{intensidad}$ en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento.
10. Señala qué justificación tiene determinar el Uan a una intensidad correspondiente a $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.
11. Indica el método que consideres más adecuado para valorar el Uan.
12. Señala qué duración se recomienda habitualmente para establecer el MLSS.
13. Justifica las posibles limitaciones de permitir en la determinación del MLSS un incremento de lactato de $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ en la ejecución de un esfuerzo continuo.
14. Establece las posibles ventajas del test 5 x 2.000 respecto al método tradicional de determinar el MLSS.
15. Describe el protocolo del test 5 x 2.000 para determinan el MLSS.
16. Indica el T_{lím} observado para la VMLSS.
17. Señala qué concentración de lactato está asociada a la VMLSS.

- 18.** Explica cómo consideras que se debe evaluar la economía del esfuerzo de un deportista que compite en pruebas de larga duración.
- 19.** Indica cómo evaluarías la eficiencia aeróbica-anaeróbica y la eficiencia aeróbica de un deportista.
- 20.** Justifica las limitaciones del test de Wingate como prueba estándar para determinar el metabolismo anaeróbico de los deportistas.
- 21.** Indica qué pruebas consideras las más adecuadas para valorar el metabolismo anaeróbico de un deportista.
- 22.** Justifica las limitaciones de una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento y de la prueba de la Course-Navette para determinar la capacidad de resistencia de deportistas que compiten en esfuerzos intermitentes.
- 23.** Explica las limitaciones de las pruebas diseñadas para la valoración de la capacidad de resistencia de los distintos esfuerzos intermitentes que no incluyen acciones ejecutadas a la máxima intensidad.
- 24.** Indica qué método consideras el mejor para valorar la capacidad de resistencia en un deporte de equipo.
- 25.** Señala qué parámetros debe considerar una prueba para valorar la resistencia a la fuerza explosiva requerida en un esfuerzo intermitente.
- 26.** Establece con un ejemplo la reorientación del entrenamiento de deportistas valorados mediante una prueba que considere las características de la resistencia a la fuerza explosiva necesaria en un esfuerzo intermitente.

Bibliografía

- Abbiss CR, Laursen PB. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med* 2008;38:239-52.
- Adams RP, Welch HG. Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *J Appl Physiol* 1980;49:863-8.
- Adams WC, Bernauer EM, Dill DB et al. Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO₂ max and running performance. *J Appl Physiol* 1975;39:262-6.
- Aragonés J, Schneider M, Van Geyte K et al. Deficiency or inhibition of oxygen sensor Phd1 induces hypoxia tolerance by reprogramming basal metabolism. *Nat Genet* 2008;40:170-80.
- Ayalon A, Inbar O, Bar-Or O. Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. En: Nelson RC, Morehouse CA. *International Series on Sport Sciences*. Vol I. Biomechanics IV, University Par Press, 1974,572-77.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Aziz, AR, Chuan TK. Correlation between tests of running repeated sprint ability and anaerobic capacity by Wingate cycling in multi-sprint sports athletes. *Int J Appl Sports Sci* 2004;16:14-22.
- Backhouse SH, Ali A, Biddle SJ *et al.* Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: impact on affect and perceived exertion. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:605-10.
- Backhouse SH, Bishop NC, Biddle SJ *et al.* Effects of carbohydrate and prolonged exercise on affect and perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1768-73.
- Bailey DM, Davies B, Young IS. Intermittent hypoxic training: implications for lipid peroxidation induced by acute normoxic exercise in active men. *Clin Sci (Lond)* 2001;101:465-75.
- Bailey DM, Davies B, Romer L *et al.* Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;78:360-8.
- Bampouras TM, Marrin K. Comparison of two anaerobic water polo-specific tests with the Wingate test. *J Strength Cond Res* 2009;23:336-40.
- Bangsbo J. *Entrenamiento de la condición física en el fútbol*. Paidotribo, 2008.
- Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsø F. Activity profile of competitive soccer. *Can J Sports Sci* 1991;16:110-6.
- Barr SI, Costill DL, Fink WJ. Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:811-7.
- Baron B, Noakes TD, Dekerle J *et al.* Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med* 2008;42:528-33.
- Barrios R. Estudio del parámetro tiempo en el baloncesto actual. *Clinic* 2002;56:10-2.
- Basset DR, Howley ET. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:591-603.
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-7.
- Ben Abdelkrim N, El Fazaa S, El Ati J. Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med* 2007;41:69-75; discussion 75.
- Benoit H, Germain M, Barthélémy JC *et al.* Pre-acclimatization to high altitude using exercise with normobaric hypoxic gas mixtures. *Int J Sports Med* 1992;13 Suppl 1:S213-6.
- Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med* 2007;37:575-86.
- Berg A, Jakob E, Lehmann M *et al.* Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie. *Pneumologie* 1990;44:213.
- Bergh U, Sjödén B, Forsberg A *et al.* The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:205-11.
- Bergström J, Hermansen L, Hultman E *et al.* Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 1967;71:140-50.
- Billat VL, Sirvent P, Py G *et al.* The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* 2003;33:407-26.
- Billat VL. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med* 1996;22:157-75.
- Billat VL, Koralsztejn JP. Significance of the velocity at VO_2 max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996;22:90-108.
- Billat V, Renoux JC, Pinoteau J *et al.* Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO_2 max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Arch Physiol Biochem* 1995a;103:129-35.
- Billat V, Palleja P, Charlaix T *et al.* Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *J Sports Med Phys Fitness* 1995b;35:20-4.

- Billat VL, Dalmay F, Antonini MT *et al.* A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:196-202.
- Billat V, Renoux JC, Pinoteau J *et al.* Times to exhaustion at 100% of the velocity at VO_2max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:271-3.
- Billat V, Renoux JC, Pinoteau J *et al.* Reproducibility of running time to exhaustion at VO_2max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:254-7.
- Björklund G, Pettersson S, Schagatay E. Performance predicting factors in prolonged exhausting exercise of varying intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99:423-9.
- Bogdanis GC, Nevill ME, Bobbis LH *et al.* Recovery of power output and muscle metabolites following 30-s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol* 1995;482:467-80.
- Böning D. Altitude and hypoxia training—a short review. *Int J Sports Med* 1997;18:565-70.
- Booth J, Marino F, Hill C *et al.* Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *Br J Sports Med* 1999;33:14-8.
- Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sport Exerc* 1982;14:377-81.
- Bosquet L, Duchene A, Dupont G *et al.* VO_2 kinetics during supramaximal exercise: relationship with oxygen deficit and 800-m running performance. *Int J Sports Med* 2007;28:518-24.
- Bosquet L, Léger L, Legros P. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med* 2002;32:675-700.
- Bougois J, Vrijens J. The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. *Int J Sports Med* 1998;19:553-9.
- Boyle PM, Mahoney CA, Wallace WF. The competitive demands of elite male field hockey. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:235-41.
- Bradley PS, Sheldon W, Wooster B *et al.* High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 2009;27:159-68.
- Brisswalter J, Legros P. Variability in energy cost of running during one training season in high level runners. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:135-40.
- Brueckner JC, Atchou G, Capelli C *et al.* The energy cost of running increases with the distance covered. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;62:385-9.
- Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci* 2004;22:15-30.
- Burke LM, Hawley JA. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34: 1492-8.
- Bussau VA, Fairchild TJ, Rao A *et al.* Carbohydrate loading in human muscle: an improved 1 day protocol. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:290-5.
- Cabello Manrique D, Gonzalez-Badillo JJ. Analysis of the characteristics of competitive badminton. *Br J Sports Med* 2003;37:62-6.
- Calbet JA, Boushel R, Radegran G *et al.* Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2003;284:R291-303.
- Calbet JA, Gorostiaga E. *Evaluación del deportista de alto rendimiento deportivo*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1998.
- Calzada MJ, del Peso L. Hypoxia-inducible factors and cancer. *Clin Transl Oncol* 2007;9:278-89.
- Carter H, Jones AM, Doust JH. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *J Sports Sci* 1999;17:957-67.
- Castagna C, D'Ottavio S, Vera JG *et al.* Match demands of professional Futsal: A case study. *J Sci Med Sport* 2009;12:490-4.
- Chamari K, Hachana Y, Ahmed YB *et al.* Field and laboratory testing in young elite soccer
- *****ebook converter DEMO Watermarks*****

- players. *Br J Sports Med* 2004;38:191-6.
- Chamari K, Ahmaidi S, Blum JY *et al.* Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:191-4.
- Cheuvront SN, Montain SJ, Sawka MN. Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports Med* 2007;37:353-7.
- Cheuvront SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running. Biological and environmental influences. *Sports Med* 2001;31:743-62.
- Christmass MA, Richmond SE, Cable NT *et al.* Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *J Sports Sci* 1998;16:739-47.
- Clarke ND, Drust B, Maclaren DP *et al.* Fluid provision and metabolic responses to soccer-specific exercise. *Eur J Appl Physiol* 2008;104:1069-77.
- Conconi F, Grazi G, Casoni I *et al.* The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med* 1996;17:509-19.
- Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG *et al.* Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* 1982;52:869-73.
- Conley D, Krahenbuhl G. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sport* 1980;12:357-60.
- Cornish SM, Chilibeck PD, Burke DG. The effect of creatine monohydrate supplementation on sprint skating in ice-hockey players. *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46:90-8.
- Costill DL, Sherman WM, Fink WJ *et al.* The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am J Clin Nutr* 1981;34:1831-6.
- Costill DL, Sparks K, Gregor R *et al.* Muscle glycogen utilization during exhaustive running. *J Appl Physiol* 1971;31:353-6.
- Cox G, Mujika I, Tumilty D *et al.* Acute creatine supplementation and performance during a field test simulating match play in elite female soccer players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2002;12:33-46.
- Coyle EF. Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *J Appl Physiol* 2005;98:2191-6.
- Coyle EF, Holloszy JO. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 1984;56:831-8.
- Cramp T, Broad E, Martin D *et al.* Effects of preexercise carbohydrate ingestion on mountain bike performance. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1602-9.
- Crewe H, Tucker R, Noakes TD. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:569-77.
- Cunningham DA, Faulkner JA. The effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Med Sci Sports* 1969;1:65-9.
- Daniels JT, Scardina N, Hayes J *et al.* Elite and sub-elite female middle- and long-distance runners. En: Lander DM. *The 1984 Olympic Scientific Congress proceedings*. Vol. 3. Sports and elite performers. Human Kinetics, 1986,57-72.
- Daniels JT. A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:332-8.
- Daniels J, Oldridge N. The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Med Sci Sports* 1970;2:107-12.
- Dal Monte A, Faina M. *Valutazione dell'atleta. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione*. UTET, 1999.
- Däpp C, Gassmann M, Hoppeler H *et al.* Hypoxia-induced geneactivity in disused oxidative muscle. En: Roach R, Wagner P, Hackett P. *Hypoxia and exercise*. Springer Publisher, 2005.
- Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sports Sci* 2002;20:311-8.

- Davies CT, Thompson MW. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;41:233-45.
- Davis HA, Gass GC. Blood lactate concentration during incremental work before and after maximum exercise. *Br J Sports Med* 1979;13:165-9.
- Debruyn-Prevost P, Sturbois. Physiological responses of girls to aerobic and anaerobic endurance tests. *J Sports Med* 1984;24:149-54.
- Degoutte F, Jouanel P, Filaire E. Energy demands during a judo match and recovery. *Br J Sports Med* 2003;37:245-9.
- Desplanches D, Hoppeler H, Tuscher L et al. Muscle tissue adaptations of high-altitude natives to training in chronic hypoxia or acute normoxia. *J Appl Physiol* 1996;81:1946-51.
- Desplanches D, Hoppeler H, Linossier MT et al. Effects of training in normoxia and normobaric hypoxia on human muscle ultrastructure. *Pflugers Arch* 1993;425:263-7.
- Deutsch MU, Maw GJ, Jenkins D et al. Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *J Sports Sci* 1998;16:561-70.
- Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G et al. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 2009;30:205-12.
- Di Salvo V, Baron R, Tschan H et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 2007;28:222-7.
- Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *J Sports Sci* 2005;23:993-1002.
- Dufour S. *Optimisation de la performance aérobie chez l'athlète: Hypoxie intermittente à l'exercice et ergocycle excentrique comme nouvelles approches de stimulations métaboliques et mécaniques*. Université de Strasbourg I-Louis Pasteur, 2005.
- Durocher JJ, Jensen DD, Arredondo AG et al. Gender differences in hockey players during on-ice graded exercise. *J Strength Cond Res* 2008;22:1327-31.
- Emonson DL, Aminuddin AH, Wight RL et al. Training-induced increases in sea level VO_2 max and endurance are not enhanced by acute hypobaric exposure. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;76:8-12.
- Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO_2 max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* 2007;10:2735.
- Faina M, Billat V, Squadrone R et al. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;76:13-20.
- Faulkner JA, Daniels JT, Balke B. Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. *J Appl Physiol* 1967;23:85-9.
- Fay L, Londeree BR, LaFontaine TP et al. Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:319-24.
- Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço P et al. Time limit at VO_2 máx. velocity in elite crawl swimmers. *Int J Sports Med* 2008;29:145-50.
- Fernández J, Mendez-Villanueva A, Pluim BM. Intensity of tennis match play. *Br J Sports Med* 2006;40:387-91.
- Fernández J, Fernández-García B, Mendez-Villanueva A et al. Activity patterns, lactate profiles and ratings of perceived exertion (RPE) during a professional tennis singles tournament. En: Crespo M, McInerney P, Miley D. *Quality coaching for the future. 14 ITF worldwide coaches workshop*. ITF, 2005.
- Fernández-García B, Pérez-Landaluce J, Rodríguez-Alonso M et al. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1002-6.
- Ferro A, Rivera A, Pagola I et al. *A kinematic study of the sprint events at the 1999 World Championships in athletics in Sevilla*. XX International Symposium on Biomechanics in

- Sports, Cáceres, 2002.
- Fink WJ, Costill DL, Van Handel PJ. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1975;34:183-90.
- Flück M, Hoppeler H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity—from gene to form and function. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 2003;146:159-216.
- Föhrenbach R, Mader A, Hollmann W. Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *Int J Sports Med* 1987;8:11-8.
- Foster C, Lucia A. Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Sports Med* 2007;37(4-5):316-9.
- Foster C, deKoning JJ, Hettinga F *et al.* Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. *Int J Sports Med* 2004;25:198-204.
- Foxdal P, Sjödin A, Sjödin B. Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. *Int J Sports Med* 1996;17:360-5.
- Fujitsuka N, Tamamoto T, Ohkuwa T *et al.* Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. *Eur J Appl Physiol* 1982;48:289-96.
- Fulco CS, Rock PB, Cymerman A. Improving athletic performance: is altitude residence or altitude training helpful? *Aviat Space Environ Med* 2000;71:162-71.
- Gabbett T, Kelly J, Pezet T. A comparison of fitness and skill among playing positions in sub-elite rugby league players. *J Sci Med Sport* 2008;11:585-92.
- Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH *et al.* Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* 1993;75:712-9.
- Gazeau F, Koralsztejn JP, Billat V. Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed. *Arch Physiol Biochem* 1997;105:583-90.
- Ge RL, Witkowski S, Zhang Y *et al.* Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol* 2002;92:2361-7.
- Geiser J, Vogt M, Billeter R *et al.* Training high—living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med* 2001;22:579-85.
- Girard O, Micallef JP, Noual J *et al.* Alteration of neuromuscular function in squash. *J Sci Med Sport* 2009 Feb 20. [Epub ahead of print.]
- Girard O, Lattier G, Micallef JP *et al.* Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *Br J Sports Med* 2006a;40:521-6.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F *et al.* Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *Br J Sports Med* 2006b;40:791-6.
- Goddard RF. *The effects of altitude on physical performance*. The Athletic Institute, 1967.
- González AJ, Hernández D, De Vera A *et al.* ACE gene polymorphism and erythropoietin in endurance athletes at moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:688-93.
- Gore CJ, Clark SA, Saunders PU. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1600-9.
- Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ *et al.* Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand* 2001;173:275-86.
- Gore CJ, Little SC, Hahn AG *et al.* Reduced performance of male and female athletes at 580 m altitude. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75:136-43.
- Gorostiaga E, Ibáñez J, Calbet JA. *Respuestas biológicas al esfuerzo en el alto rendimiento deportivo*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003.
- Green HJ, Roy B, Grant S *et al.* Increases in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization. *J Appl Physiol* 2000;89:1189-97.
- Green HJ, Sutton JR, Cymerman A *et al.* Operation Everest II: adaptations in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1989;66:2454-61.

- Hanon C, Leveque JM, Thomas C *et al.* Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. *Int J Sports Med* 2008;29:206-11.
- Hardy CJ, Rejeski WJ. Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. *J Sports Exerc Psychol* 1989;11:304-17.
- Harnish CR, Swensen TC, Pate RR. Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1052-5.
- Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RS. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol* 1999;86:2013-8.
- Haseler LJ, Richardson RS, Videen JS *et al.* Phosphocreatine hydrolysis during submaximal exercise: the effect of FIO₂. *J Appl Physiol* 1998;85:1457-63.
- Hautier D, Wouassi D, Arsac M. Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *Eur J Appl Physiol* 1994;68:508-13.
- Haverty M, Kenney WL, Hodgson JL. Lactate and gas exchange responses to incremental and steady state running. *Br J Sports Med* 1988;22:51-4.
- Heck H. The importance of lactate measurement for the determination of the anaerobic threshold. En: Winter UJ, Wasserman K, Treese N *et al.* *Computerized cardiopulmonary exercise testing*. Sprinter-Verlag, 1991,41-55.
- Heck H, Mader A, Hess G *et al.* Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:11730.
- Hendriksen IJ, Meeuwssen T. The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:396-403.
- Hernandez Moreno J. *Análisis de la acción de juego en los deportes de equipo: su aplicación al baloncesto*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona 1987.
- Heugas M, Brisswalter J, Vallier M. Effet d'une période d'entraînement de trois mois sur le déficit maximal en oxygène chez des sprinters de haut niveau de performance. *Can J Appl Physiol* 1997;22:171-81.
- Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Quart J Med* 1923;16:135-71.
- Hirvonen J, Nummela A, Rusko H *et al.* Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can J Sport Sci* 1992;17:141-4.
- Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H *et al.* Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56:253-9.
- Hochachka PW, Stanley C, Merkt J *et al.* Metabolic meaning of elevated levels of oxidative enzymes in high altitude adapted animals: an interpretive hypothesis. *Respir Physiol* 1983;52:303-13.
- Hoffman JR, Epstein S, Einbinder M *et al.* A comparison between the Wingate anaerobic power test to both vertical jump and line drill tests in basketball players. *J Strength Cond Res* 2000;14:261-4.
- Hogan MC, Richardson RS, Haseler LJ. Human muscle performance and PCr hydrolysis with varied inspired oxygen fractions: a ³¹P-MRS study. *J Appl Physiol* 1999;86:1367-73.
- Hoppeler H, Vogt M, Weibel ER *et al.* Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. *Exp Physiol* 2003;88:109-19.
- Hoppeler H, Vogt M. Hypoxia training for sea-level performance. Training high-living low. *Adv Exp Med Biol* 2001;502:61-73.
- Hoppeler H, Kleinert E, Schlegel C *et al.* Morphological adaptations of human skeletal muscle to chronic hypoxia. *Int J Sports Med* 1990;11 Suppl 1:S3-9.
- Hornbein TF, Schoene RB. *High altitude: an exploration of human adaptation*. Marcel Dekker, 2001.

- Hug F, Bendahan D, Le Fur Y *et al.* Metabolic recovery in professional road cyclists: a 31P-MRS study. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:846-52.
- Hughes RL, Clode M, Edwards RH *et al.* Effect of inspired O₂ on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man. *J Appl Physiol* 1968;24:336-47.
- Hultman E. Nutritional effects on work performance. *Am J Clin Nutr* 1989;49(5 Suppl):949-57.
- Hunter I, Smith GA. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:653-61.
- Impellizzeri FM, Marcora SM. The physiology of mountain biking. *Sports Med* 2007;37:59-71.
- Impellizzeri FM, Sassi A, Rodríguez-Alonso M *et al.* Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1808-13.
- Ivy JL, Jatz AL, Cutler CL *et al.* Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 1988;64:1480-5.
- Ivy JL, Costill DL, Fink WJ *et al.* Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med Sci Sports* 1979;11:6-11.
- Jaakkola P, Mole DR, Tian YM *et al.*, Targeting of HIF α to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O₂-regulated prolyl hydroxylation. *Science* 2001;292(5516):468-72.
- Jansson E, Terrados N, Norman B *et al.* Effects of training at simulated high altitude on exercise at sea level. *Scand J Med Sci Sports* 1992;2:2-6.
- Jeukendrup AE, Hopkins S, Aragón-Vargas LF *et al.* No effect of carbohydrate feeding on 16 km cycling time trial performance. *Eur J Appl Physiol* 2008 Nov;104(5):831-7.
- Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers A *et al.* Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *Int J Sports Med* 1997;18:125-9.
- Jones AM, Atter T, Georg KP. Oral creatine supplementation improves multiple sprint performance in elite ice-hockey players. *J Sports Med Phys Fitness* 1999;39:189-96.
- Jones AM, Doust JH. The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners. *J Sports Sci* 1997;15:385-94.
- Karlsson J, Saltin B. Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J Appl Physiol* 1971;31:203-6.
- Katayama K, Sato K, Matsuo H *et al.* Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 2004;92:75-83.
- Katayama K, Matsuo H, Ishida K *et al.* Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt Med Biol* 2003;4:291-304.
- Katz A, Sahlin K. Effect of decreased oxygen availability on NADH and lactate contents in human skeletal muscle during exercise. *Acta Physiol Scand* 1987;131:119-27.
- Kellis E, Katis A, Vrabas IS. Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:334-44.
- Keul J, Simon G, Berg A *et al.* Bestimmung der individuellen anaerobia schwelle zum leistungsbewertung und training-gestaltung. *Dtsch Z Sportmed* 1979;30:212-8.
- Kilding AE, Jones AM. Validity of a single-visit protocol to estimate the maximum lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1734-40.
- Kime R, Karlsen T, Nioka S *et al.* Discrepancy between cardiorespiratory system and skeletal muscle in elite cyclists after hypoxic training. *Dyn Med* 2003;2:4.
- Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;42:2534.
- Kovacs MS. Carbohydrate intake and tennis: are there benefits? *Br J Sports Med* 2006 May;40:e13. Kovacs MS. A comparison of work/rest intervals in men's professional tennis. *Med Sci Tennis* 2004;9(3):10-1.
- Krustrup P, Mohr M, Ellingsgaard H *et al.* Physical demands during and elite female soccer

- game: importance of training status. *Med Sci Sport Exerc* 2005;37:1242-8.
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T *et al.* The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:697-705.
- Krustrup P, Bangsbo J. Physiological demands of topclass soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *J Sports Sci* 2001;19:881-91.
- Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA *et al.* Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 1985;6:197-201
- Kuno S, Inaki M, Tanaka K *et al.* Muscle energetics in short-term training during hypoxia in elite combination skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:301-4.
- Lamberts RP, Swart J, Noakes TD *et al.* Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:705-13.
- Lee H, Martin DT, Anson JM *et al.* Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci* 2002;20:1001-8.
- Legaz-Arrese A, Kinfu H, Munguía-Izquierdo D *et al.* Basic physiological measures determine fitness and are associated with running performance in elite young male and female Ethiopian runners. *J Sports Med Phys Fitness* 2009a;49:358-63.
- Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Carranza-García LE *et al.* Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *J Strength Cond Res* 2009b. En prensa.
- Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Nuviala A *et al.* Average VO_2max as a function of running performances on different distances. *Sci Sport* 2007;22:43-9.
- Legaz Arrese A, Munguía Izquierdo D, Serveto Galindo JR. Physiological measures associated with marathon running performance in high-level male and female homogeneous groups. *Int J Sports Med* 2006;27:289-95.
- Legaz Arrese A, Serrano Ostáriz E, Casajús Mallén JA, Munguía Izquierdo D. The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:435-40.
- Legaz Arrese A. *Valoración fisiológica en deportistas de elite que compiten en distancias desde 100 metros hasta maratón: diferencias de sexo, pruebas y rendimiento.* Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza 2000.
- Leger L, Gadoury C. Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO_2max in adults. *Can J Sport Sci* 1989;14:21-6.
- Leger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980;5:77-84.
- Leger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_2max . *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982;49:1-12.
- Leibar X, Terrados N. *Aspectos específicos de la nutrición deportiva y ayudas ergogénicas.* Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003.
- Leibar X, Terrados N. Un approccio biomedico alla cor-sa di maratona. *Revista di Cultura Sportiva/SdS* 1996;35:43-51.
- Leone M, Léger LA, Larivière G *et al.* An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int J Sports Med* 2007;28:823-8.
- Levine BD. Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt Med Biol* 2002;3:177-93.
- Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997;83:102-12.
- Levine BD, Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med* 1992;13 Suppl 1:S209-12.
- Levine BD, Friedman DB, Engfred K *et al.* The effect of normoxic or hypobaric hypoxic endurance training on the hypoxic ventilatory response. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:769-75.

- Locatelli E. The importance of anaerobic glycolysis and stiffness in the sprints (60,100 and 200 metres). *NSA* 1996;2-3:121-5.
- Londeree BR. The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports Med* 1986;3:201-13.
- Lucía A, Oliván J, Bravo J *et al.* The key to top-level endurance running performance: a unique example. *Br J Sports Med* 2008;42:172-4; discussion 174.
- Lucía A, Rabadán M, Hoyos J *et al.* Frequency of the VO₂ max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med* 2006a;27:984-92.
- Lucía A, Esteve-Lanao J, Oliván J *et al.* Physiological characteristics of the best Eritrean runners: exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006b;31:530-40.
- Lucía A, Hoyos J, Santalla A *et al.* Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:872-8.
- Lucía A, Hoyos J, Perez M *et al.* Inverse relationship between VO₂ max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002a;34:2079-84.
- Lucía A, Hoyos J, Santalla A *et al.* Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med* 2002b;36:113-7.
- Lucía A, Hoyos J, Carvajal A *et al.* Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med* 1999;20:167-72.
- Mader A, Liesen H, Heck H *et al.* Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit in labor. *Sportarzt und Sportmedizin* 1976;27:8088.
- Margaria R, Cerretelli P, Mangili F. Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *J Appl Physiol* 1963;19:623-8.
- Marles A, Legrand R, Blondel N *et al.* Effect of high-intensity interval training and detraining on extra VO₂ and on the VO₂ slow component. *Eur J Appl Physiol* 2007;99:633-40.
- Masuda K, Okazaki K, Kuno S *et al.* Endurance training under 2500-m hypoxia does not increase myoglobin content in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:486-90.
- McLean DA. Analysis of the physical demands of international rugby union. *J Sports Sci* 1992;10:285-96.
- McAinch AJ, Febbraio MA, Parkin JM *et al.* Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004;14:185-96.
- McInnes SE, Carlson JS, Jones CJ *et al.* The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci* 1995;13:387-97.
- Medbø JI. Is the maximal accumulated oxygen deficit an adequate measure of the anaerobic capacity. *Can J Appl Physiol* 1996;21:370-83.
- Medbø JI, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 1989;67:1881-6.
- Medbø JI, Mohn AC, Tabata I *et al.* Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol* 1988;64:50-60.
- Meeuwsen T, Hendriksen IJ, Holewijn M. Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 2001;84:283-90.
- Melissa L, MacDougall JD, Tarnopolsky MA *et al.* Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:238-43.
- Mermier CM, Janot JM, Parker DL *et al.* Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med* 2000;34:359-65.
- Messonnier L, Geyssant A, Hintzy F *et al.* Effects of training in normoxia and normobaric hypoxia on time to exhaustion at the maximum rate of oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 2004;92:470-6.
- Micklewright D, Papadopoulou E. A new squash specific incremental field test. *Int J Sports*

- Med* 2008;29:758-63.
- Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med* 2007a;37:857-80.
- Midgley AW, McNaughton LR, Polman R *et al.* Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Med* 2007b;37:1019-28.
- Mizuno M, Juel C, Bro-Rasmussen T *et al.* Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J Appl Physiol* 1990;68:496-502.
- Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003; 21:439-49.
- Moliner D. *Análisis de la preparación física en los deportes de equipo españoles de elite.* Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 2008.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-38. Morante SM, Brotherhood JR. Autonomic and behavioural thermoregulation in tennis. *Br J Sports Med* 2008;42:679-85; discussion 685.
- Morgan DW, Baldini FD, Martin PE *et al.* Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_2 máx. among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:78-83.
- Narazaki K, Berg K, Stergiou N *et al.* Physiological demands of competitive basketball. *Scand J Med Sci Sports* 2008 Apr 6. [Epub ahead of print.]
- Navarro F, Manso J. *Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la resistencia.* Master en Alto Rendimiento Deportivo, COE-UAM, 2003.
- Navarro F. *Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la resistencia.* Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM 1994.
- Navarro F, Legaz A. Características fisiológicas de los maratonianos de elite (II): umbral anaeróbico. *RED* 1998;12(2):25-8.
- Navarro F, Legaz A. Características fisiológicas de los maratonianos de elite (I): consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca. *RED* 1997;11(3):5-12.
- Noakes TD, Lambert MI, Hauman R. Which lap is the slowest? An analysis of 32 world mile record performances. *Br J Sports Med* 2009;43:760-4.
- Noakes TD. Testing for maximum oxygen consumption has produced a brainless model of human exercise performance. *Br J Sports Med* 2008;42:551-5.
- Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO_2 máx. test predicts running performance. *J Sports Sci* 1990;8:35-45.
- Novas AMP, Rowbattam DG, Jenkins DG. A practical method of estimating energy expenditure during tennis play. *J Sci Med Sport* 2003;6:40-50.
- O'Brien BJ, Wibskov J, Knez WL *et al.* The effects of interval-exercise duration and intensity on oxygen consumption during treadmill running. *J Sci Med Sport* 2008;11:287-90.
- Oyono-Enguelle S, Heitz A, Marbach J *et al.* Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;60:321-30.
- Padilla S, Mujika I, Santisteban J *et al.* Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races. *Eur J Appl Physiol* 2008;102:431-8.
- Padilla S, Mujika I, Orbañanos J *et al.* Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:796-802.
- Padilla S, Mujika I, Orbañanos J *et al.* Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2000a;32:850-6.
- Padilla S, Mujika I, Angulo F *et al.* Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. *J Appl Physiol* 2000b;89:1522-7.
- Palmer AS, Potteiger JA, Nau KL *et al.* A 1-day maximal lactate steady-state assessment protocol for trained runners. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1336-41.

- Palmer GS, Clancy MC, Hawley JA, Rodger IM, Burke LM, Noakes TD. Carbohydrate ingestion immediately before exercise does not improve 20 km time trial performance in well trained cyclists. *Int J Sports Med* 1998;19:415-8.
- Parkin JA, Carey MF, Martin IK *et al.* Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sport Exerc* 1997;29:220-4.
- Parolin ML, Chesley A, Matsos MP *et al.* Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am J Physiol* 1999;277(5 Pt 1):E890-900.
- Péronnet F, Thibault G. Mathematical analysis of running performance and world running records. *J Appl Physiol* 1989;67:453-65.
- Platanou T, Geladas N. The influence of game duration and playing position on intensity of exercise during match-play in elite water polo players. *J Sports Sci* 2006;24:1173-81.
- Pluim BM, Ferrauti A, Broekhof F *et al.* The effects of creatine supplementation on selected factors of tennis specific training. *Br J Sports Med* 2006 Jun;40:507-11; discussion 511-2.
- Poole DC, Wilkerson DP, Jones AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol* 2008;102:403-10.
- Preen DB, Dawson C, Goodman S *et al.* Effect of creatine loading on long-term sprint exercise performance and metabolism. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:814-21.
- Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C *et al.* Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J Sci Med Sport* 2009;12:227-33.
- Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C *et al.* Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 2007;28:1018-24.
- Reynafarje B. Myoglobin content and enzymatic activity of muscle and altitude adaptation. *J Appl Physiol* 1962;17:301-5.
- Richalet JP, Henry JP. *Médecine de l'alpinisme et des sports de montagne*. Masson, 2003.
- Richardson RS, Wagner H, Mudaliar SR *et al.* Human VEGF gene expression in skeletal muscle: effect of acute normoxic and hypoxic exercise. *Am J Physiol* 1999;277:H2247-52.
- Richardson RS, Noyszewski EA, Leigh JS *et al.* Lactate efflux from exercising human skeletal muscle: role of intracellular PO₂. *J Appl Physiol* 1998;85:627-34.
- Richardson RS, Noyszewski EA, Kendrick KF *et al.* Myoglobin O₂ desaturation during exercise. Evidence of limited O₂ transport. *J Clin Invest* 1995;96:1916-26.
- Roach R & Kayser B. Exercise and hypoxia. En: Hornbein F, Schoene RB. *High altitude: an exploration of human adaptation*. Marcel Dekker, 2001, 663-706.
- Rodríguez-Marroyo JA, García-Lopez J, Villa JG *et al.* Adaptation of pedaling rate of professional cyclist in mountain passes. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:515-22.
- Rodríguez-Marroyo JA, García J, Avila C *et al.* Intensity of exercise according to topography in professional cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1209-15.
- Roi GS, Osgnach C. Metodi biochimici e fisiologici per il controllo del carico interno nel gioco del calcio. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2005;66:23-8.
- Roskamm H, Landry F, Samek L *et al.* Effects of a standardized ergometer training program at three different altitudes. *J Appl Physiol* 1969;27:840-7.
- Rossato M, Bini RR, Carpes FP *et al.* Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. *Int J Sports Med* 2008;29:746-52.
- Rusko HK, Nummela A. Measurement of maximal and submaximal anaerobic performance capacity: concluding chapter. *Int J Sports Med* 1996;14(Suppl 2):S125-9.
- Rusko HK, Nummela A, Mero A. A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;66:97-101.

- Rusko HR. New aspects of altitude training. *Am J Sports Med* 1996;24:S48-52.
- Saltin B, Kim CK, Terrados N *et al.* Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 1995;5:222-30.
- Saltin B, Costill D.L. Fluid and electrolyte balance during prolonged exercise. En: Horton ES, Teejung RL. *Exercise, nutrition and metabolism*. Macmillan, 1988,150-8
- Saunders PU, Telford RD, Pyne DB *et al.* Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol* 2004;96:931-7.
- Schnabel A, Kinderman W. Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur J Appl Physiol* 1983;52:42-6.
- Serrano-Ostáriz E, Terreros-Blanco JL, Legaz-Arrese A *et al.* The impact of exercise duration and intensity on the release of cardiac biomarkers. *Scand J Med Sci Sport*. En prensa.
- Sharp RL. Exercise physiology: proper conditioning. En: Leonard J. *Science of Coaching Swimming*. Leisure Press, 1992,71-98.
- Sheel AW. Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med* 2004;38:355-9.
- Simon G, Berg A, Dickhuth HH *et al.* Bestimmung der anaerobischen Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und von der Leistungsfähigkeit. *Dtsch Z Sportmed* 1981;32:714.
- Sjödin B, Svedenham J. Applied physiology of marathon running. *Sports Med* 1985;2:83-99.
- Sjödin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sport Med* 1981;2:23-6.
- Skare OC, Skadberg, Wisnes AR. Creatine supplementation improves sprint performance in male sprinters. *Scand J Med Sci Sports* 2001;11:96-102.
- Skinner JS, McLellan. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport* 1980;51:234-48.
- Skof B, Strojnik V. Neuro-muscular fatigue and recovery dynamics following anaerobic interval workload. *Int J Sports Med* 2006;27:220-5.
- Spencer M, Bishop D, Dawson B *et al.* Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1492-9.
- Spencer M, Lawrence S, Rechichi C *et al.* Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *J Sports Sci* 2004;22:843-50.
- Spencer MR, Gastin PB. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:157-62.
- Spencer MR, Gastin PB, Payne WR. Energy system contribution during 400 to 1500 metres. *NSA* 1996;11:5965.
- Sproule J. Running economy deteriorates following 60 min of exercise at 80% VO_2 max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;77:366-71.
- Stapelheldt B, Schwirtz A, Schumacher YO *et al.* Workload demands in mountain bike racing. *Int J Sports Med* 2004;25:294-300.
- Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2:160-5.
- Stisen AB, Stougaard O, Langfort J *et al.* Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:497-506.
- Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 2001;91:1113-20.
- Sunderland C, Morris JG, Nevill ME. A heat acclimation protocol for team sports. *Br J Sports Med* 2008;42:327-33.
- Svedenham J. Maximal and submaximal oxygen uptake during running: how should body mass be accounted for? *Scand J Med Sci Sports* 1995;5:175-80.
- Svedenham J, Saltin B, Johansson C *et al.* Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *Scand J Med Sci*

Sports 1991;1:205-14.

- Tanaka K, Matsuura Y. Marathon performance, anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation. *J Appl Physiol* 1984;57:640-3.
- Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:620-7.
- Terrados N, Mora R, Padilla S. La recuperación de la fatiga del deportista. *Gymnos* 2004.
- Terrados N. *Situaciones especiales de entrenamiento. Termorregulación y altitud*. Master en Alto Rendimiento Deportivo, COE-UAM, 2004.
- Terrados N. Altitude training and muscular metabolism. *Int J Sports Med* 1992a;13 Suppl 1:S206-9.
- Terrados N, Jansson E, Norman B *et al*. Increased inosine 5-monophosphate accumulation despite no sign of increased glycolytic rate during one-legged exercise at simulated high altitude. *Scand J Med Sci Sports* 1992b;2:7-9.
- Terrados N, Jansson E, Sylven C *et al*. Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J Appl Physiol* 1990;68:2369-72.
- Terrados N, Melichna J, Sylven C *et al*. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:203-9.
- Terrados N, Mizuno M, Andersen E. Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes; role of training status and lung function. *Clinical Physiol* 1985;5 (Suppl. 3):75-9.
- Terreros JL, Navas F. Valoración funcional: aplicaciones al entrenamiento deportivo. *Gymnos* 2003.
- Thomas C, Hanon C, Perrey S *et al*. Oxygen uptake response to an 800-m running race. *Int J Sports Med* 2005;26:268-73.
- Thorland W, Podolon DA, Mazzeo RS. Coincidence of lactate threshold and HR-power output threshold under varied nutritional states. *Int J Sports Med* 1994;15:301-4.
- Thorlund JB, Aagaard P, Madsen K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *Int J Sports Med* 2009;30:273-8.
- Thorlund JB, Michalsik LB, Madsen K *et al*. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:462-72.
- Tokmakidis SP, Léger L, Piliandis TC. Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *Eur J Appl Physiol* 1998;77:333-42.
- Tokmakidis SP, Léger L. Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate threshold points and relationship with performance. *Eur J Appl Physiol* 1992;64:309-17.
- Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001;31:1-11.
- Truijens MJ, Toussaint HM, Dow J *et al*. Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *J Appl Physiol* 2003;94: 733-43.
- Tucker R, Noakes TD. The physiological regulation of pacing strategy during exercise. *Br J Sports Med* 2009;43(6):e1.
- Tucker R, Lambert MI, Noakes TD. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *Int J Sports Physiol Perform* 2006;1:233-45.
- Ullah MS, Davies AJ, Halestrap AP. The plasma membrane lactate transporter MCT4, but not MCT1, is up-regulated by hypoxia through a HIF-1 α -dependent mechanism. *J Biol Chem* 2006;281(14):9030-7.
- Urhausen A, Coen B, Weiler B *et al*. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med* 1993;14:134-9.
- Utter AC, Kang J, Robertson RJ *et al*. Effect of carbohydrate ingestion on ratings of perceived exertion during a marathon. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1779-84.

- Vallier JM, Chateau P, Guezennec CY. Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;73:471-8.
- Ventura N, Hoppeler H, Seiler R *et al.* The response of trained athletes to six weeks of endurance training in hypoxia or normoxia. *Int J Sports Med* 2003;24:166-72.
- Vogt S, Schumacher YO, Roecker K *et al.* Power Output during the Tour de France. *Int J Sports Med* 2007;28:756-61.
- Vogt S, Heinrich L, Schumacher YO *et al.* Power output during stage racing in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:147-51.
- Vogt M, Puntschart A, Geiser J *et al.* Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J Appl Physiol* 2001;91:173-82.
- Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964;14:844-52.
- Watson G, Swensen T. Effects of altering pedal cadence on cycling time-trial performance. *Int J Sports Med* 2006;27:296-300.
- Watts P, Newbury V, Sulentic J. Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *J Sports Med Phys Fitness* 1996;36:255-60.
- Weltman A. *The blood lactate response to exercise.* Human Kinetics, 1995.
- Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med* 2007;37:669-82.
- Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 1986;5:346-56.
- West JB. Barometric pressures on Mt. Everest: new data and physiological significance. *J Appl Physiol* 1999;86:1062-6.
- Wiener CM, Booth G, Semenza GL. In vivo expression of mRNAs encoding hypoxia inducible factor 1. *Biochem Biophys Res Commun* 1996;225:485-8.
- Willmore JH, Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. *Human Kinetics* 2004.
- Wingo JE, Casa DJ, Berger EM *et al.* Influence of a preexercise glycerol hydration beverage on performance and physiologic function during mountain-bikes races in the heat. *J Athl Training* 2004;39:169-75.
- Wyndham CH, Strydom NB, Maritz JS, *et al.* Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. *J Appl Physiol* 1959;14:927-36.
- Yquel RJ, Arsac RM, Thiaudiere E *et al.* Effect of creatine supplementation on phosphocreatine resynthesis, inorganic phosphate accumulation and pH during intermittent maximal exercise. *J Sports Sci* 2002;20:427-37.
- Zapico AG, Calderón FJ, Benito PJ *et al.* Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 2007;47:191-6.
- Zintl F. *Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento.* Martínez Roca, 1991.
- Zoladz JA, Sargeant AJ, Emmerich J *et al.* Changes in acid-base status of marathon runners during an incremental field test. Relationship to mean competitive marathon velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;67:71-6.

capítulo 5

Optimización de la movilidad articular

El capítulo 5 tiene por objeto presentar una visión moderna de los estiramientos que permita a los entrenadores, preparadores físicos, fisioterapeutas y en general a todos los profesionales del mundo de la actividad física y el deporte realizar programas de estiramientos fundamentados y estructurados. En el apartado 1, *Fundamentos básicos de la movilidad articular*, enseñamos las diferencias y semejanzas entre los conceptos asociados a la movilidad articular y la variedad de factores que determinan la amplitud del movimiento. El apartado 2, *Neurofisiología articular*, muestra los mecanismos que regulan la movilidad articular y que sientan las bases de los programas de estiramiento. Establecidos los conocimientos neurofisiológicos, el apartado 3, *Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular*, presenta los tipos de estiramientos, su fundamentación y aplicabilidad a las distintas modalidades deportivas. Finalmente, en el apartado 4, *Evaluación y control de la movilidad articular*, se realiza un análisis de los métodos directos e indirectos para la evaluación de la movilidad articular determinando las ventajas y los inconvenientes de cada uno de ellos.

1

Fundamentos básicos de la movilidad articular

Gerard Moras Feliu

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los conceptos asociados a la movilidad articular.
- Conocer los factores que determinan la movilidad articular, sus causas y aplicaciones prácticas.

Índice

1.1. Definición de flexibilidad

Amplitud del movimiento

Elasticidad

Flexibilidad, elasticidad y amplitud del movimiento

1.2. Factores limitantes de la amplitud del movimiento articular

Factores estructurales

– Tipo de articulación

– El tejido muscular

– El tejido conectivo

– El sistema musculotendinoso, ligamentos y fascia

– La piel

Otros factores

– La edad

– El sexo

– La temperatura

– El calentamiento

– La hora del día

– El trabajo habitual y las costumbres sociales

– El equilibrio muscular

– El estrés y la tensión muscular

Síntesis
Cuestionario de asimilación

Pocos serán los que, habiendo inaugurado con alguna fortuna sus exploraciones científicas, no se hayan visto obligados a quebrantar y disminuir algo el pedestal de algunos referentes. Demostrar la falsedad o poca consistencia de algunas prácticas habituales con nuevas investigaciones constituye siempre una buena forma de avanzar.

Santiago Ramón y Cajal, 1898.

Al abordar en profundidad los principios y teorías acerca de los estiramientos podemos afirmar que estamos en la fase de destruir los errores del pasado y proponer cautelosamente nuevas vías de experimentación sobre la base de unas teorías más sólidas y consistentes que las que había hasta el momento. No exageramos si decimos que durante muchos años los estiramientos fueron tratados como la “Cenicienta” de la teoría del entrenamiento. En la mayoría de las publicaciones aparecían como un punto y aparte, recibiendo un tratamiento diferenciado de la fuerza, ya que supuestamente tenían poca relación con ella aunque ambos formaban y siguen formando parte de la mayoría de los programas de entrenamiento. Lejos de aclarar cuál podía ser la mejor manera de combinar los ejercicios de fuerza y los de estiramiento, la mayoría de estos manuales se conformaban presentando un recetario de aplicaciones prácticas basadas en unos métodos de estiramiento supuestamente nuevos e innovadores, pero con una mala fundamentación teórica. El poco rigor científico de estas publicaciones no ayudó a desmentir algunos tópicos que aún hoy siguen vivos en algunos ámbitos deportivos. Seguimos pensando que estirar sirve prácticamente para todo: reduce el riesgo de lesión, mejora la postura y la simetría corporal, aumenta la relajación, alivia el dolor, aumenta el rendimiento y en general mejora la salud de las personas.

Debemos remontarnos a finales de los años 1990 para encontrar los primeros trabajos que han tratado con rigor esta supuesta capacidad física. Fue a partir de ese momento cuando aumentó el interés por entender las bases teóricas del estiramiento, fruto de lo cual fue la primera edición del libro de Michel J. Alter “Science of Flexibility” (1996). Esta publicación puede considerarse un primer punto de inflexión que dio luz a una interesante visión argumentada del porqué de los estiramientos. El libro ofrece respuestas

sencillas a buena parte de las preguntas que todos nos hemos formulado alguna vez. Sin ninguna duda fue un primer paso que ayudó a aflorar muchos estudios interesantes que hasta el momento no habían podido tener la relevancia que se merecían. Parecía razonable que el resultado de un programa de estiramientos fuese más predecible y se basara en principios biológicos y biomecánicos. Con esta intención aparecieron los primeros estudios focalizados en delimitar las propiedades mecánicas y dinámicas de los tejidos blandos. Para ello se utilizaron los últimos avances tecnológicos. En poco tiempo se observaron las estrechas interacciones que existen entre los programas de estiramientos y los programas de entrenamiento de las diferentes manifestaciones de la fuerza. En este sentido, son de destacar los estudios realizados para conocer los efectos de los diferentes tipos de estiramiento sobre las propiedades elásticas y viscoelásticas de los tendones, así como sobre la *stiffness* (rigidez muscular) del complejo musculotendinoso (Morse *et al.*, 2008; Wilson *et al.*, 1992).

Previo al estudio de la metodología del entrenamiento que permita optimizar la movilidad articular, es necesario diferenciar y establecer interrelaciones entre distintos conceptos que habitualmente se utilizan de forma errónea. También se aborda en este apartado, como requisito previo para la comprensión de los mecanismos neuromusculares que regulan los estiramientos, todos los factores que determinan el grado de movilidad articular de un sujeto.

1.1. Definición de flexibilidad

La **flexibilidad** se define de muchas maneras diferentes en función de la disciplina, la naturaleza de la investigación o su utilización en seres animados o inanimados. Todo ello ha creado mucha confusión y ha hecho necesario contextualizarla y, en la medida de lo posible, analizar pormenorizadamente las diversas palabras que se utilizan como sinónimos y que dificultan notablemente la comprensión de los textos.

Para algunos autores flexibilidad indica solamente la capacidad que tiene un cuerpo para doblarse sin romperse. También se ha definido como la capacidad para desplazar una articulación o serie de articulaciones a través de una amplitud del movimiento completa, sin restricciones ni dolor (Prentice, 1993; Rasch, 1989; Alter, 1988; Arnheim y Couch, 1982; Jensen y Fisher, 1979). Para Barrow *et al.*, (1987), Baumgartner y Jacksons (1982) y McGee

(1979) entre otros, flexibilidad es simplemente el grado de movimiento de una articulación. Sin embargo, Siff y Verkhoshansky (1996) relacionaron movilidad y estabilidad con flexibilidad y concluyeron que flexibilidad se refería a la amplitud del movimiento de una articulación específica en relación con un grado concreto de libertad, entendiendo que cada articulación muestra uno o diversos de los grados de libertad posibles (flexoextensión, aducción-abducción, inversión-eversión, pronación-supinación, etc.). Hubley y Kozey (1991), en cambio, se mostraron más cercanos a un modelo que relacionaba la movilidad con la extensibilidad de los tejidos, definiendo flexibilidad como la amplitud del movimiento de una articulación o conjunto de articulaciones, que refleja la capacidad de las estructuras musculotendinosas para estirarse dentro de las limitaciones propias de la articulación. Platonov (2001) consideró más adecuado utilizar el concepto flexibilidad para valorar la movilidad general de las articulaciones del cuerpo y referirse simplemente a movilidad cuando hablamos de una articulación en concreto. La flexibilidad en este caso sería una expresión compleja de las propiedades morfofuncionales del cuerpo humano. Finalmente, Liemohn y Pariser (2001) definieron flexibilidad como la capacidad de una articulación para moverse alrededor de su amplitud del movimiento, y consideraron que amplitud del movimiento y flexibilidad tienen el mismo significado.

En resumen, la mayoría de las definiciones consideran flexibilidad como sinónimo de amplitud del movimiento y sólo unos pocos autores han considerado la flexibilidad como una cualidad compleja en la que intervienen diversos factores.

Amplitud del movimiento

La **amplitud del movimiento** (ADM) o movilidad articular es una valoración cuantitativa del arco de movimiento articular en una determinada articulación al realizar un movimiento cualquiera o al alcanzar una posición determinada. En general, la anatomía funcional describe los límites de la ADM normales de las articulaciones más importantes del cuerpo humano de la población sedentaria (Reese y Bandy, 2002; Borms y Van Roy, 2001; Kapandji, 1993; Alter, 1990), pero aporta pocos datos referentes a valores de la ADM en diferentes modalidades deportivas (Borms y Van Roy, 2001).

Por tanto, estimar la ADM de una articulación en un determinado plano debe considerarse simplemente una valoración cuantitativa de la movilidad

articular.

Elasticidad

Podemos definir **elasticidad** como la capacidad de un tejido o de una articulación para volver a la longitud inicial o posición no forzada una vez cesen las fuerzas que los mantenían deformados. Cuanto más grande es la elasticidad de un tejido o de un sistema articular, mayor ha de ser la fuerza aplicada para producir un cierto grado de estiramiento o deformación. Por eso, flexibilidad y elasticidad son consideradas a menudo contrapuestas o antagónicas (Garret *et al.*, 2000). Así, en condiciones normales, un incremento de la flexibilidad en una determinada articulación se corresponde con un aumento de la ADM y una pérdida de la capacidad elástica que en algunos casos puede llegar a ser el origen de cierta inestabilidad de la articulación (Balaftsalis, 1982; Corbin y Noble, 1980; Nicholas, 1970; Klein, 1961).

Flexibilidad, elasticidad y amplitud del movimiento

Normalmente, cuando hablamos de la capacidad para movilizar una articulación a través de su APM articular potencial, no se contempla la velocidad de ejecución, pero cuando hablamos de flexibilidad o elasticidad sí deberíamos hacerlo. Concretamente, cuando la velocidad de ejecución es baja o la posición es estática, deberíamos hablar de flexibilidad o entrenamiento de la flexibilidad, y cuando la velocidad de ejecución es elevada, de elasticidad o entrenamiento elástico. Por esta razón, es adecuado considerar la flexibilidad y la elasticidad como manifestaciones de la ADM en estrecha relación con la velocidad de ejecución. A partir de esta consideración, podemos clasificar los movimientos articulares en función de la velocidad de ejecución dentro de un margen de movimiento concreto. Así, el **entrenamiento de la flexibilidad** estará relacionado con **posiciones estáticas** (sin movimiento) o con **movimientos articulares lentos** (velocidad media o baja). Por el contrario, el **entrenamiento de la elasticidad** debe relacionarse siempre con **movimientos rápidos** o muy rápidos (gran aceleración). La justificación de considerar entrenamiento elástico solamente cuando los movimientos articulares son realizados a gran velocidad la encontramos en las consideraciones de Hill en 1950. En sus estudios comprobó que la energía

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

mecánica almacenada en el componente elástico podía ser utilizada para producir una velocidad final más elevada que la desarrollada por el componente contráctil si la contracción concéntrica seguía inmediatamente a la excéntrica (Hill, 1961; Fenn y Marsh, 1935).

Por el contrario, cuando las fases excéntrica y concéntrica no se sucedían rápidamente, la energía acumulada se disipaba, en parte en forma de calor, reduciéndose notablemente la potencia mecánica resultante. Esto significa que la elasticidad es un factor transitorio que permite que un movimiento rápido sea más ventajoso que uno lento. A partir de este razonamiento, parece adecuado que en general se hable de tests de flexibilidad y ejercicios de flexibilidad, ya que la mayor parte de los ejercicios y tests propuestos en la bibliografía especializada parten de posiciones estáticas o se corresponden con movimientos realizados a baja velocidad que no permiten generar ni reutilizar energía elástica.

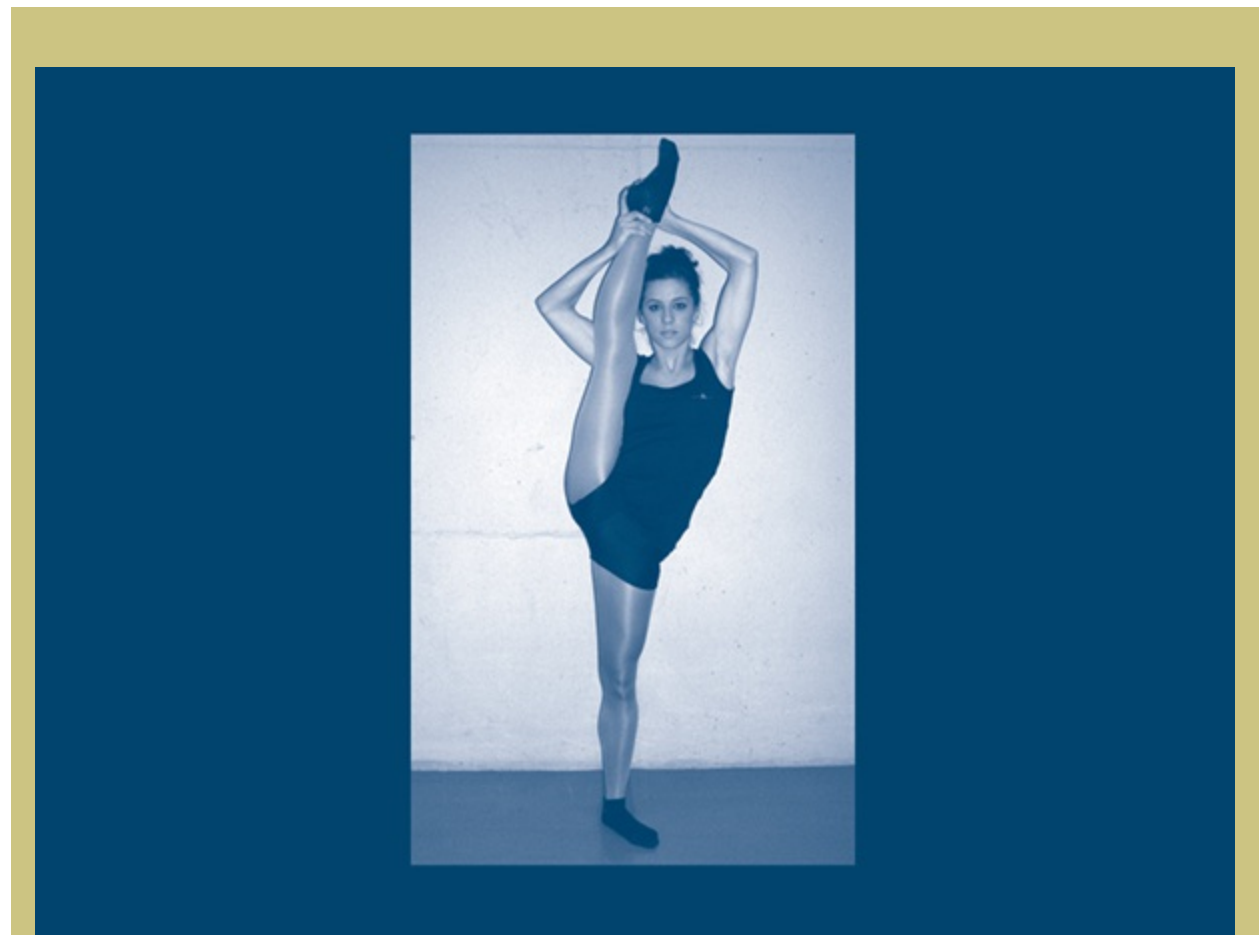


FIGURA 5.1. Hipermovilidad por la repetición continuada de estiramientos pasivos forzados.

1.2. Factores limitantes de la amplitud del movimiento articular

Factores estructurales

Tipo de articulación

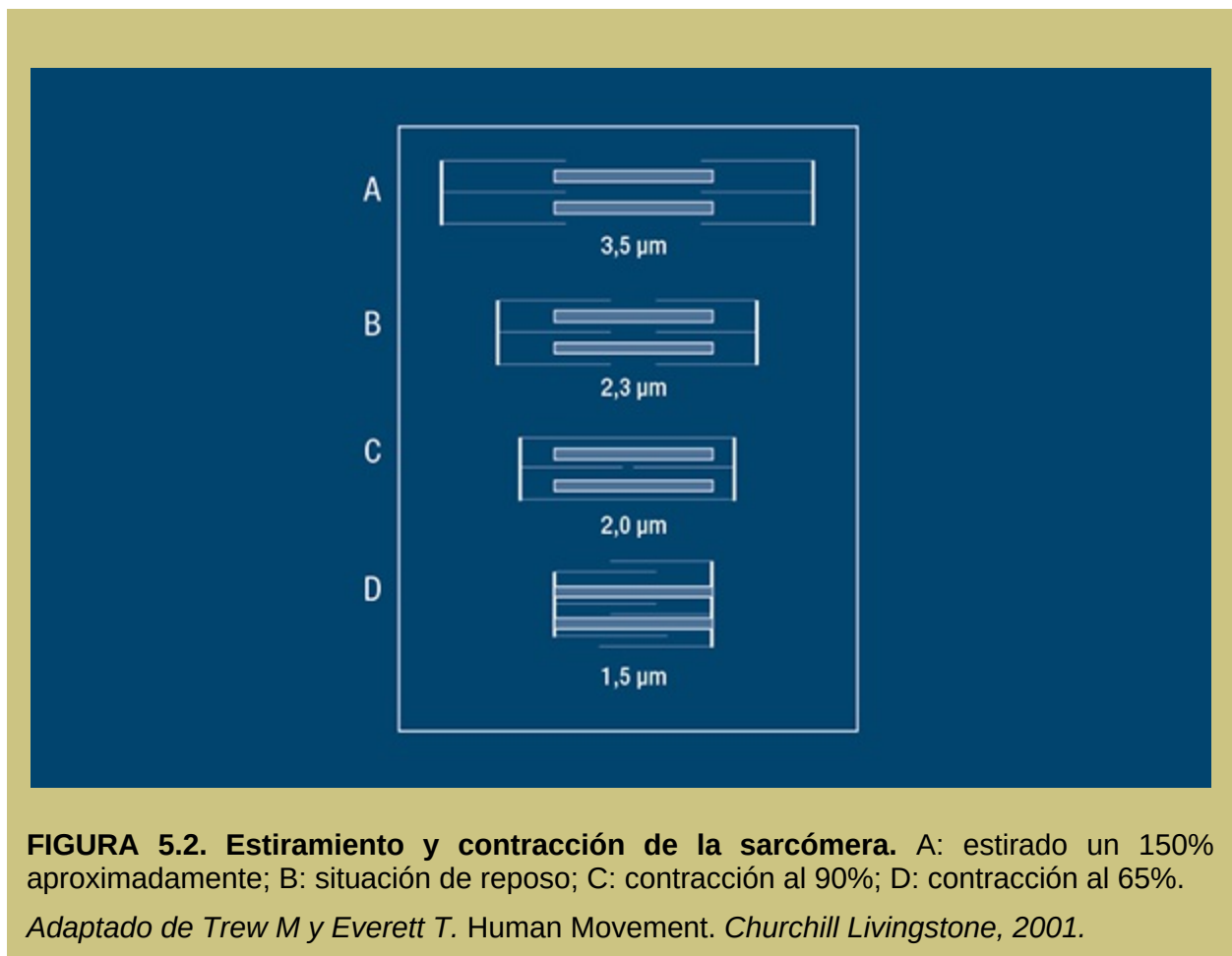
Si consideramos que moverse dentro del arco del movimiento articular supone vencer las resistencias que los diferentes componentes del cuerpo ofrecen al estiramiento, es lógico considerar los accidentes óseos como el primer factor limitante de la ADM articular.

Cada **articulación** tiene unas características bien definidas en lo que se refiere a las **posibilidades de movimiento** y **grados de libertad**. Atendiendo a su morfología, se diferencian articulaciones con uno, dos y tres grados de movimiento. La estructura de la articulación determina el camino que han de seguir los segmentos corporales como si fuesen vías de tren. A veces los límites normales del movimiento son superados por la realización continuada de estiramientos forzados que llegan a deformar ciertas partes de la articulación, como es el caso de la hipermovilidad del tobillo en las niñas que practican ballet clásico, las caderas de un gimnasta o la espalda de las niñas que hacen gimnasia rítmica (figura 5.1). Estas deformaciones llamadas plásticas se producen normalmente cuando los huesos aún no han finalizado el proceso de osificación.

El tejido muscular

También son relevantes los factores inherentes al **tejido muscular**, entendiendo el músculo como un conjunto de fibras musculares con el correspondiente tejido circundante. El músculo sólo tiene capacidad para contraerse, por lo que no es posible que se estire por sí solo. Para estirarse hay que aplicar una **fuerza externa** como la fuerza de un momento, la fuerza de los músculos antagonistas del músculo que se estira, la fuerza de otra persona o la aplicada por una parte del cuerpo del propio individuo, la

tracción de un utensilio mecánico o la propia gravedad. El resultado en todos los casos es que los miofilamentos se deslizan separándose. Los límites teóricos del desplazamiento de estos miofilamentos del componente contráctil se pueden determinar mediante un estudio de las medidas microscópicas de la longitud de la sarcómera, de los miofilamentos de miosina y actina y de la zona H (Alter, 1988). En términos cuantitativos, la **sarcómera** es capaz de aumentar **más del 50% respecto a su longitud en reposo**, lo que permite a los músculos realizar una amplia gama de movimientos (figura 5.2).



El tejido conectivo

Los **tejidos conectivos** del cuerpo humano se componen esencialmente de tres tipos de fibra: colágeno, elastina y reticulina. Las dos primeras constituyen prácticamente el 90% del total.

El **colágeno** es probablemente la proteína más abundante en el reino

animal, siendo considerada un componente estructural fundamental de los tejidos. Sus principales propiedades físicas son la rigidez (**poca extensibilidad**) y la gran resistencia a la tensión (Garret *et al.*, 2000; Alter, 1988; Minns *et al.*, 1973). Esta elevada resistencia a la deformación puede explicarse por la presencia de enlaces intermoleculares. En realidad, los enlaces cruzados actúan integrando los bloques estructurales en una unidad fuerte como si se tratara de una cuerda. En general, estas fibras pueden ser estiradas hasta un máximo de un **8-10% de su longitud** original antes de romperse (Weiss y Greer, 1977; Holland, 1968; Laban, 1962).

La respuesta a un aumento gradual de carga presenta cuatro zonas concretas y diferenciadas. Un estiramiento suave (zona neutra) no provocará modificaciones de la ADM articular. La zona elástica muestra una respuesta lineal al incremento de carga. En esta zona, las fibras han perdido su forma en espiral y son prácticamente paralelas al eje de tensión. Al final de la zona elástica, las fibras sometidas a mucha tensión muestran el inicio de una zona de rotura (zona plástica) que nos conduce inevitablemente a un punto de rotura completa (figura 5.3). En la figura 5.4 se representa la estructura y orientación de las fibras de un tendón, y en la figura 5.5, las fibras de colágeno del ligamento de la rodilla en descarga y con carga.

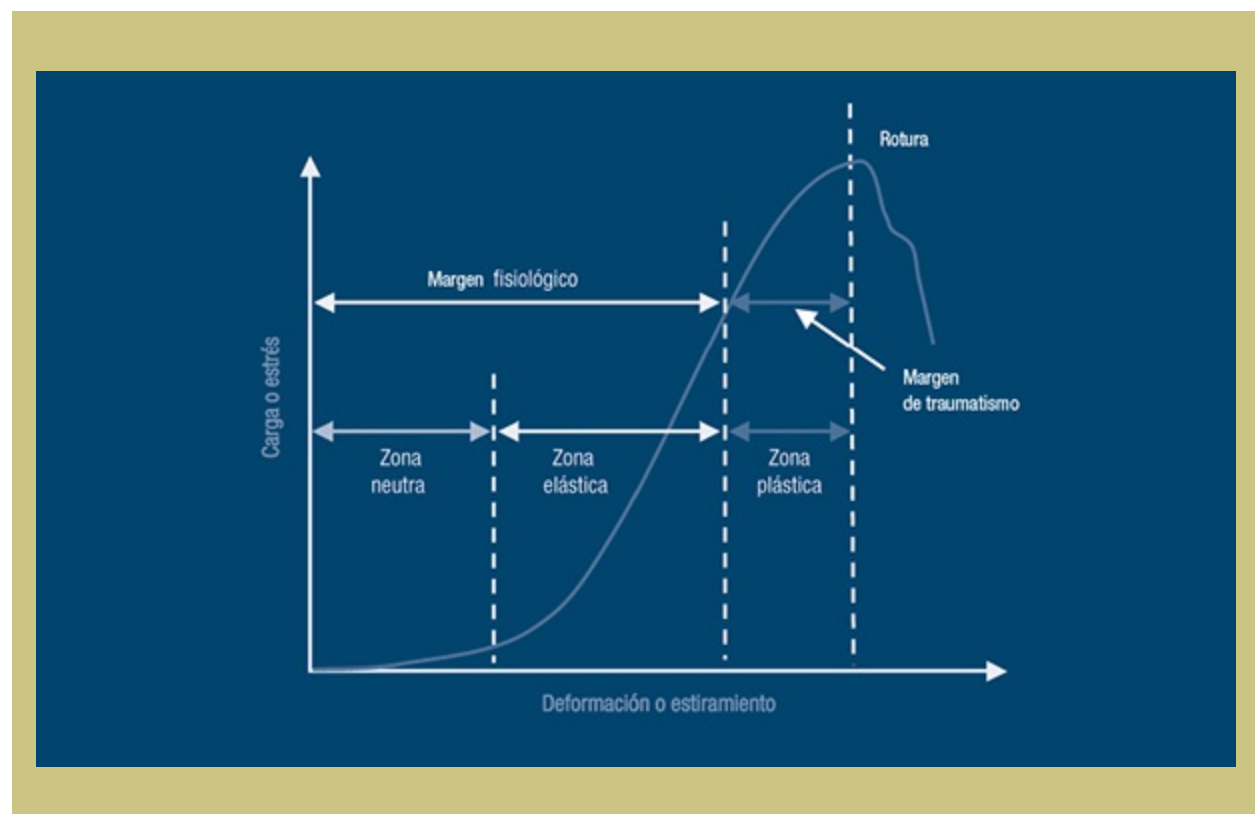


FIGURA 5.3. Respuesta de un tejido de colágeno a un exceso de carga. Se muestran las cuatro regiones características, las zonas neutra y elástica que determinan el margen fisiológico y la zona plástica que delimita el punto de rotura completa.

Adaptado de Carlstedt CA y Nordin M. Biomechanics of tendons and ligaments. Lea & Febiger, 1989.

El **tejido elástico** es un tipo de tejido desprovisto totalmente de colágeno. Es un componente estructural fundamental del tejido humano que se distribuye en cantidades variables por todo el cuerpo. Concretamente, en los ligamentos de la columna vertebral hay grandes cantidades casi puras de estas fibras.

Las fibras elásticas son las responsables de lo que llamamos capacidad elástica, es decir extensibilidad inversa o capacidad de retorno a la posición o situación inicial de reposo cuando desaparecen las fuerzas que provocaban un cierto grado de deformación. Aunque las fibras elásticas ceden fácilmente al estiramiento, no alcanzan el punto de rotura hasta valores de estiramiento cercanos al **150% de su longitud** inicial. Curiosamente, para alcanzar este punto de rotura sólo es necesaria una fuerza de 20 a 30 kg/cm² (Bloom y Faawcet, 1975). Algunas de las funciones de las fibras elásticas son la difusión de la tensión que se origina en puntos aislados para aumentar la coordinación de los movimientos rítmicos del cuerpo, conservar el tono muscular durante la relajación del músculo, realizar una barrera contra las fuerzas excesivas y ayudar a los órganos a recuperar su configuración normal (Jenkins y Little, 1974).



FIGURA 5.4. Diagrama esquemático de la estructura y orientación de las fibras de un

tendón.

Adaptado de Carlstedt CA y Nordin M. Biomechanics of tendons and ligaments. Lea & Febiger, 1989.

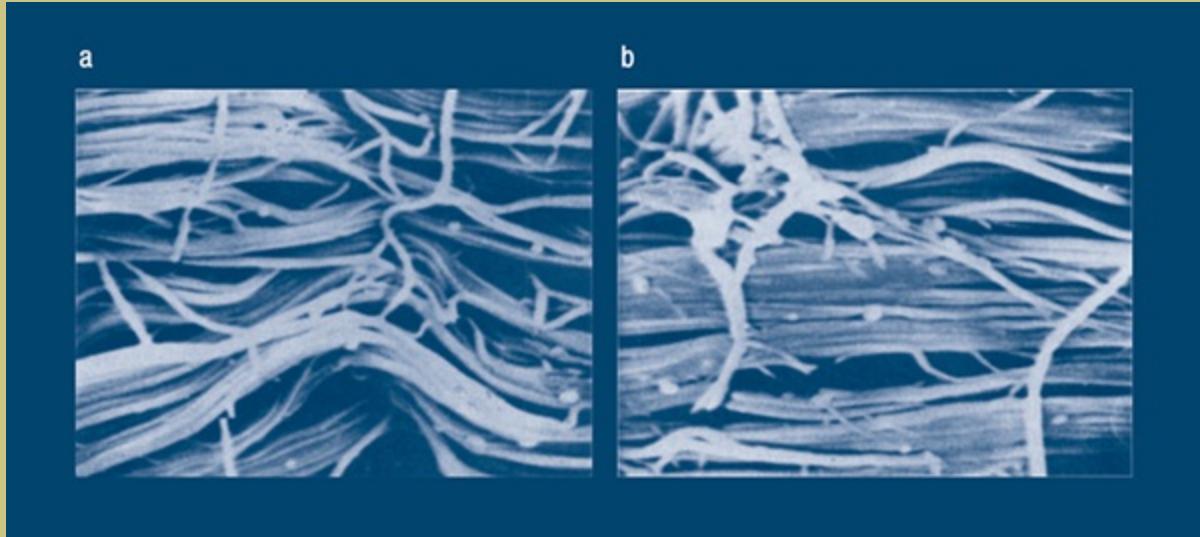


FIGURA 5.5. Imagen de las fibras de colágeno del ligamento de la rodilla en descarga (a) y con carga (b).

Reproducido, con permiso, de Carlstedt CA y Nordin M. Biomechanics of tendons and ligaments. Lea & Febiger, 1989.

El tejido conectivo fibroso así como el elástico desempeñan un papel fundamental en la ADM de las articulaciones. Normalmente, el grado de amplitud de los movimientos será en parte el resultado de la integración de estos dos tejidos (figura 5.6). Cuando el porcentaje de fibras de colágeno sea superior, habrá una rigidez elevada y una ADM restringida. Por el contrario, cuando predomine el tejido elástico la rigidez será menor y las posibilidades de realizar movimientos amplios serán mayores (Gosline, 1976; Eldren, 1968).

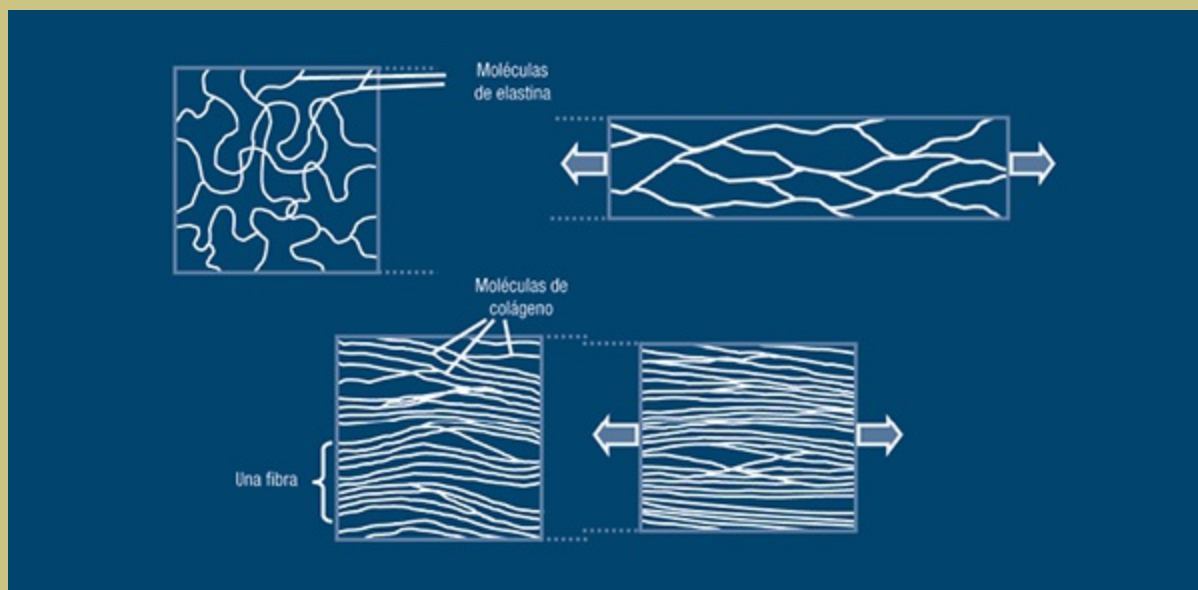


FIGURA 5.6. Capacidad de deformación de las moléculas de colágeno y elastina. Véase la diferente capacidad de deformación del tejido elástico y de las fibras de colágeno.

Adaptado de Watkins J. Structure and function of the musculoskeletal system. Human Kinetics, 1999.

El sistema musculotendinoso, ligamentos y fascia

Los **tendones** son cuerdas resistentes que transmiten la actividad muscular a la estructura ósea. Están compuestos por haces de colágeno paralelos, densos y agrupados estrechamente que varían en longitud y grosor. Su inextensibilidad permite que incluso las contracciones musculares más débiles puedan ser transmitidas a las articulaciones. En situaciones normales el tendón **no es estirado más de un 5%** (Herzog y Gál, 1999). Estiramientos superiores cercanos al 8-10% suponen deformaciones irreversibles con un alto riesgo de roturas graves.

Por otro lado, los **ligamentos** unen los huesos modulando la estabilidad de las articulaciones. Se parecen a los tendones porque también están compuestos fundamentalmente por fibras de colágeno paralelas entre sí, aunque en este caso presentan una menor alineación con el eje de tensión. Su composición permite que haya **suficiente libertad de movimientos** en las articulaciones sin perder su fortaleza, resistencia e inextensibilidad. Los ligamentos y las cápsulas de las articulaciones aportan alrededor del 47% de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

la resistencia total al movimiento (Johns y Wright, 1962).

Finalmente, la **fascia**, definida como una estructura conectiva fibrosa que no recibe una denominación específica, es también responsable de la resistencia a la tensión, siendo en los movimientos pasivos el segundo **factor limitador de la ADM con un 41%** (Heyward, 1991; Johns y Wright, 1962).

Los programas de estiramiento y los tests de evaluación de la ADM deben basarse en la extensión y deformación del complejo musculotendinoso, no siendo recomendables los estiramientos o tests que fueren excesivamente las estructuras ligamentarias y/o la cápsula de las articulaciones (MacDougall *et al.*, 1995).

La piel

La **piel** tiene un **efecto restrictivo mínimo** sobre la ADM. John y Wright (1962) le atribuyen una contribución relativa de un 2%, aunque para otros autores puede ser en algunos casos notablemente mayor si consideramos la grasa subcutánea. En este sentido, Prentice (1997) considera la grasa un posible factor limitante en personas obesas, poniendo como ejemplo la considerable reducción de la capacidad de movimiento en la flexión del tronco hacia delante en todas las personas que tienen gran cantidad de grasa en el abdomen. En este caso, la grasa actúa como si de una cuña se tratara.

Otros factores

La edad

Las personas pierden flexibilidad y elasticidad con la **edad**, aunque esta relación no es exactamente lineal (Kuhlmann, 1993; Einkauff *et al.*, 1987; Corbin y Noble, 1980; Sermeev, 1966). La mayoría de los estudios detectan una **progresiva involución a partir de los primeros años de vida**. Los niños, después de una fase de elevada laxitud que se mantiene relativamente estable hasta los 10-11 años, entran en la adolescencia, en la cual esta capacidad facilitadora empieza a disminuir (Beaulieu, 1986). Es precisamente desde la pubertad hasta los 20-30 años cuando el deterioro será más grande en relación con el aumento de masa muscular. A partir de los 30 años se vuelve a estabilizar para volver a disminuir gradualmente hasta la senectud.

En este sentido, podemos destacar algunos estudios que detectan una importante disminución del 20-50% entre los 30 y los 70 años en función de la articulación examinada (Chapman *et al.*, 1972). Estas pérdidas se producen por los procesos de atrofia muscular, los cambios físicos y químicos de las fibras de colágeno y elastina, la deshidratación, la reordenación de las fibras, las roturas fibrilares y las calcificaciones. Esta continua regresión desde los primeros años de vida depende de una gran **multitud de factores**, siendo uno de ellos, probablemente el más importante, el tipo y la cantidad de actividad deportiva que se realice (Voorrips *et al.*, 1993; Nelson *et al.*, 1983; Sermeev, 1966). Cabe destacar que buena parte de los estudios pueden tener una validez relativa, ya que normalmente no se realizan controles previos de los niveles de actividad física, estilo de vida y una historia de las actividades previas de los sujetos. Además, no se encontraron factores antropométricos que tuvieran correlación con la flexibilidad (Wear, 1963; Broer y Galles, 1958). A pesar de todo, el conjunto de los estudios realizados apuntan a que los patrones de movimiento habituales son más importantes y trascendentes que la edad, el sexo y el tipo de morfología corporal (Barbosa *et al.*, 2002; Kligman y Pepin, 1992; Gajdosik *et al.*, 1999; Nelson *et al.*, 1983; Kirby *et al.*, 1981; Harris, 1969; Leighton, 1957; Sigerseth y Heliski, 1950).

El sexo

El **sexo** se considera uno de los factores determinantes de la ADM. En general, se acepta que **la mujer es más flexible** que el hombre de la misma edad, aunque no es fácil encontrar estudios concluyentes (Alter, 1990; Weineck, 1988). Estas diferencias, que se acentúan en el embarazo por una relajación de los músculos de la pelvis llamada efecto relaxina (Bird *et al.*, 1981; Brewer y Hinson, 1978; Abramson *et al.*, 1934), pueden ser fruto de las **diferencias anatómicas** entre sexos. La mujer está más preparada genéticamente para disponer de una ADM mayor en la región de la pelvis. Su constitución ósea más pequeña y ligera puede contribuir a ello. También se ha atribuido a las múltiples **diferencias en las actividades cotidianas** que aún hoy en día encontramos entre sexos. Concretamente, se ha encontrado que de los 10 a los 75 años los hombres presentan una flexión anterior de tronco mayor que la de las mujeres, mientras que las mujeres presentan valores mayores en la flexión lateral de tronco (Moll y Wright, 1971). Aunque se ha comprobado que los hombres son más flexibles que las mujeres

en la extensión de tronco y rotación a la derecha e izquierda, en general no se han encontrado diferencias significativas en otros movimientos (Gómez *et al.*, 1991). Por tanto, dependiendo de la articulación y del movimiento que se evalúe, las mujeres obtendrán valores menores, iguales o mayores que los de los hombres, a pesar de que en general se detecta una flexibilidad mayor en las mujeres en la mayoría de los movimientos explorados (Jones *et al.*, 1986; Docherty y Bell, 1985; Branta *et al.*, 1984; Di Nicci, 1976; Clarke, 1975; DeVries, 1974; Kirchner y Glines, 1957; Phillips *et al.*, 1955).

La temperatura

Sabemos que la **temperatura** de los tejidos modifica sus propiedades y es un factor importante que afecta la extensibilidad muscular (Sapega *et al.*, 1981; Warren *et al.*, 1976). Cuando elevamos la temperatura de algún tejido o del cuerpo en general, disminuye la rigidez y aumenta la **extensibilidad de los tejidos** y, por tanto, la ADM (Rigby, 1964; Laban, 1962). Según Wear (1963), la flexibilidad puede aumentar un 20% con un aumento de la temperatura local a 46 °C, y disminuir un 10-20% enfriando los músculos a 18 °C.

El calentamiento

El **calentamiento**, entendido como un **aumento de la temperatura corporal** al realizar una actividad física de intensidad moderada, aumenta la **amplitud del movimiento** por un aumento del riego sanguíneo muscular local (Lukes, 1954; citado por Bompa, 1983). El tipo de técnica utilizada también afecta el grado de movilidad (Wessling *et al.*, 1987; Henricson *et al.*, 1984; Hubley *et al.*, 1984; Wiktorsson-Moller *et al.*, 1983). Los calentamientos dinámicos y globales, en los que participan la mayoría de los músculos implicados en la articulación, permiten un mayor incremento de la movilidad articular que los calentamientos estáticos con poco movimiento y participación muscular.

Zatziorsky (1980; citado por Bompa, 1983) investigó los efectos del calentamiento comparando la realización de ejercicios durante 20 min con un baño a 40 °C durante 10 min. Los resultados confirmaron que el aumento más significativo se producía al realizar el calentamiento con actividad física (21% superior). Otros investigadores también comprobaron la influencia de las diferentes técnicas de calentamiento en la ADM (Wessling *et al.*, 1987;

Henricson *et al.*, 1984; Hubley *et al.*, 1984; Wiktorsson-Moller *et al.*, 1983). En general, se observó que las técnicas dirigidas eran más efectivas. Sin embargo, la principal discusión está en la utilización de técnicas de estiramiento durante el calentamiento. La mayoría de los autores actuales desestiman las técnicas de estiramiento estáticas en el calentamiento, ya que no permiten aumentar la temperatura corporal. Estos autores, a su vez, coinciden en defender una mejora de la flexibilidad articular después de un calentamiento, aunque no aportan datos sobre el alcance de la incidencia (Grobaker y Stull, 1975; Cotten y Waters, 1970; Fieldman, 1967; Hill, 1961). Por otro lado, Cornelius *et al.*, (1988) comprobaron que los ejercicios de estiramiento eran más efectivos después de aumentar la temperatura corporal mediante trabajo aeróbico. Es de destacar finalmente la aportación de Hurtoñ (1971) al plantear que un esfuerzo excesivo en el calentamiento mediante estiramientos forzados podía producir un efecto negativo en el rendimiento posterior, aumentando supuestamente el riesgo de lesión.

La hora del día

La flexibilidad varía en función de la **hora del día**. Ozolin (1971) establece una ADM máxima entre las 10 y las 11 h y entre las 16 y las 17 h. Los valores más bajos se localizan en las primeras horas de la mañana y por la tarde. Platonov (2001) también establece **valores mínimos a primera y última hora del día**, pero determina las máximas expresiones de esta manifestación entre las 10 y las 18 h. Estos cambios pueden tener una relación muy directa con los **cambios biológicos** (Ozolin, 1971). El **cambio de postura** que se produce cuando nos levantamos de la cama también reduce ligeramente la longitud del cuerpo, a la vez que incrementa la flexibilidad de la espalda. Ésta puede ser la razón por la cual nos sentimos más flexibles por la tarde.

El trabajo habitual y las costumbres sociales

La actitud y las **costumbres sociales** influyen en el grado de movilidad de las articulaciones. Esta influencia en algunos casos puede considerarse beneficiosa y en otras ser el origen de desequilibrios que debemos corregir. Los pueblos orientales normalmente tienen más flexibilidad en la articulación de la cadera por su peculiar forma de sentarse. Concretamente se han

encontrado en las extremidades inferiores ADM superiores en la población de China y de Arabia Saudí en comparación con sujetos británicos y escandinavos (Ahlberg *et al.*, 1988; Roaas y Anderson, 1982; Hoaglund *et al.*, 1973). Hay que hacer notar también que la moda de los tacones altos puede provocar una pérdida de movilidad en la articulación del tobillo por una reducción de la capacidad de extensibilidad del tríceps sural. Dick (1993) argumentaba que la adaptación estructural a las **posturas del trabajo**, como son las posiciones forzadas de la columna vertebral al trabajar con máquinas o estudiar en posturas incómodas, podía reducir la ADM de determinadas articulaciones. En la actualidad muchas investigaciones en **ergonomía** tienen el objetivo de mejorar la calidad de vida en el trabajo mediante análisis exhaustivos de los movimientos y las posturas adoptadas.

El equilibrio muscular

Aunque todas las personas tenemos una determinada movilidad articular natural, no la podemos expresar en toda su magnitud si el **equilibrio y el control muscular** local no son los adecuados. Nos referimos al equilibrio, la coordinación entre las partes del cuerpo y la aplicación de la fuerza suficiente para realizar los movimientos. Situaciones extremas como determinados movimientos de ballet o karate, en los que además de una gran ADM es necesario un elevado control del ritmo del movimiento a gran velocidad, precisan una extraordinaria coordinación que requiere muchos años de aprendizaje (Alter, 1988). Sin embargo, según Walther (1981), muchas veces no alcanzamos el equilibrio deseado simplemente porque el músculo es débil y a veces porque es demasiado rígido.

El estrés y la tensión muscular

El **estrés** puede definirse como desgaste o exceso de tensión en la vida, pudiéndose expresar desde el punto de vista mental, emocional y físico. Por otro lado, Coville (1979) define la **relajación** como la capacidad para ejercer el **control muscular**, de manera que los músculos no utilizados específicamente en un movimiento estén inactivos y los que están implicados estén activados al nivel mínimo necesario para alcanzar los resultados deseados. El estrés y la tensión muscular afectan a la persona, siendo a veces unos niveles normales de tensión saludables y deseables, y siendo otras veces

un peligro para la salud cuando son intensos y persistentes, como la crispación, el miedo y las frustraciones continuados. La unión del cuerpo y la mente ha permitido consolidar las bases de la medicina psicosomática, que ha aportado numerosos estudios que avalan el ejercicio y los programas individualizados de entrenamiento de la flexibilidad para reducir el estrés (De Vries *et al.*, 1981; Levarlet-Joye, 1979; Sime, 1977; Morgan y Horstman, 1976; De Vries, 1975). La relajación muscular permite reducir la activación muscular, siendo un factor que influye en el grado de flexibilidad y elasticidad musculares y en el rendimiento deportivo. En general, supone un consumo de energía más económico y una mayor resistencia a la fatiga, lo que permite realizar los movimientos con una mayor apariencia de facilidad en la ejecución, fácil coordinación, autocontrol, armonía y precisión (Basmajian, 1975).

Síntesis

- Existen numerosos conceptos diferentes como flexibilidad, movilidad, amplitud del movimiento y elasticidad que se han utilizado indistintamente dificultando la comprensión de los textos.
- La movilidad articular o amplitud del movimiento es una valoración cuantitativa del arco del movimiento articular en una determinada articulación al realizar un movimiento cualquiera o al alcanzar una posición determinada. Por tanto, constituye el concepto referente para determinar las necesidades de movilidad articular requeridas en las distintas modalidades deportivas.
- La elasticidad es la capacidad de un tejido o de una articulación para volver a la longitud inicial o posición no forzada una vez cesan las fuerzas que los mantenían deformados. Debido a que la reutilización de la energía elástica está asociada a una velocidad del movimiento rápida, consideraremos entrenamiento elástico cuando se realiza un movimiento articular a velocidad elevada. En cambio, cuando la velocidad al recorrer la amplitud del movimiento articular sea lenta, consideraremos que el entrenamiento es de flexibilidad.
- La amplitud del movimiento articular es fundamentalmente dependiente de las limitaciones determinadas por las propias estructuras que componen la articulación, en especial las óseas. Así, cada articulación

tiene unas características bien definidas en lo que se refiere a las posibilidades de movimiento y grados de libertad. Las características de otras estructuras como el tejido muscular, el tejido conectivo, el tejido elástico, el sistema musculotendinoso, los ligamentos, la fascia y la piel son también determinantes de la amplitud del movimiento articular.

- ▶ Además de los factores estructurales, una gran variedad de factores como la edad, el sexo, la temperatura, el calentamiento, la hora del día, el trabajo habitual y las costumbres sociales, el equilibrio muscular y el estrés y la tensión muscular determinan también el grado de amplitud del movimiento articular.
- ▶ El entrenamiento es determinante para mantener o aumentar el grado de amplitud del movimiento articular al influir sobre muchos de los factores que la limitan.

Cuestionario de asimilación

1. Establece las diferencias conceptuales entre flexibilidad, elasticidad, movilidad articular y amplitud de movimiento.
2. Indica por qué se considera entrenamiento elástico cuando el movimiento que recorre el arco articular se realiza a una velocidad elevada.
3. Identifica los factores estructurales que limitan la amplitud del movimiento articular.
4. Indica el factor estructural que más limita la amplitud del movimiento articular.
5. Explica la capacidad que tienen las sarcómeras, las fibras de colágeno, las fibras elásticas y los tendones para incrementar su longitud en reposo.
6. Indica qué importancia tiene para el desarrollo de la amplitud del movimiento articular el porcentaje relativo de fibras de colágeno y de tejido elástico.
7. Identifica el período de edad en el que se manifiesta un mayor deterioro de la amplitud del movimiento articular.
8. Establece el principal factor que determina el grado de evolución que

con la edad tiene la amplitud del movimiento.

- 9.** Indica los motivos que determinan que las mujeres tengan generalmente un mayor grado de amplitud del movimiento articular.
- 10.** Señala las aplicaciones prácticas inherentes a que el grado de amplitud articular se incremente con la temperatura de los tejidos y esté también influido por la hora del día.

Neurofisiología articular

Gerard Moras Feliu

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los receptores musculares.
- Comprender las funciones de los reflejos de estiramiento.
- Diferenciar el comportamiento de los reflejos de estiramiento según el tipo de estiramiento.
- Disponer de los fundamentos neurofisiológicos que justifican la utilización de distintos tipos de estiramientos como medio de desarrollar la movilidad articular.

Índice

2.1. Receptores musculares

2.2. Los reflejos de estiramiento

2.3. Respuesta al estiramiento estático y dinámico

2.4. Contribuciones neurales a la resistencia viscoelástica (*stiffness*) muscular

Síntesis

Cuestionario de asimilación

La comprensión de los efectos que tienen distintos tipos de estiramientos para desarrollar la movilidad articular sólo es posible disponiendo de unos conocimientos básicos de la neurofisiología articular. Por ello, en este apartado mostramos el funcionamiento de los receptores que envían información al SNC sobre la tensión, longitud, presión y nocicepción de los grupos musculares, así como la implicación que tienen los reflejos de estiramiento en función del tipo de estiramiento realizado.

2.1. Receptores musculares

Tanto los músculos como las articulaciones contienen receptores que envían información al SNC sobre la tensión, longitud, presión y nocicepción. Dos receptores tienen especial significado durante los estiramientos: el huso muscular y el órgano tendinoso de Golgi.

Distribuidos en cantidades variables en los músculos se encuentran los **husos musculares**, que son los receptores de estiramiento más importantes. Están dispuestos en paralelo con las fibras musculares acortándose y estirándose en la misma proporción que ellas (Snell, 1999). Los husos musculares contienen dos tipos de fibras musculares intrafusales diferenciadas: en bolsa nuclear y en cadena nuclear. A su vez, existen dos tipos de terminales aferentes sensoriales: las terminaciones primarias (fibras nerviosas tipo Ia), que inervan cada fibra intrafusar en cadena o en bolsa nuclear formando una espiral alrededor de la fibra, y las terminaciones secundarias (fibras nerviosas tipo II), que inervan predominantemente las fibras en cadena nuclear (Cardinali, 1992). Ambos tipos de fibras sensoriales descargan cuando el músculo es estirado. Cabe destacar que en reposo sólo descarga el huso muscular que es responsable del tono muscular. Existe una respuesta diferenciada de las terminaciones sensoriales primarias y secundarias del huso muscular ante cambios de longitud. Las **terminaciones primarias (Ia)** son sensibles tanto a la velocidad (**respuesta dinámica**) como a la longitud final (**respuesta estática**), existiendo un predominio de la respuesta dinámica. Las **terminaciones secundarias (II)** son sensibles sólo a la longitud (**respuesta estática**). La respuesta estática y la dinámica del huso

muscular están a su vez bajo el control de las motoneuronas γ . Éstas pueden ser estáticas o dinámicas según inervan fibras en cadena nuclear o en bolsa nuclear. Las motoneuronas α y γ garantizan al huso un amplio margen de sensibilidad, teniendo como finalidad que el huso muscular siga cumpliendo la función de receptor incluso durante el acortamiento muscular, en el cual no se dispondría de información sobre la longitud muscular si sólo hubiera estimulación γ , ya que el huso se pliega y deja de descargar.

Los **órganos tendinosos de Golgi** (OTG) se encuentran en el tendón, próximos a los extremos de las fibras musculares. Su disposición en serie les permite recibir la tensión que transmite el músculo. Son **sensibles al aumento de tensión** del músculo, especialmente si ésta proviene de una contracción muscular, pero **poco sensibles al estiramiento pasivo**. A diferencia de los husos musculares, no tienen inervación eferente o motriz, pero sí presentan una rica inervación sensorial por fibras de tipo Ib que descargan cuando el músculo se contrae o se estira.

Ambos receptores descargan durante el estiramiento, pero los órganos tendinosos tienen un umbral de excitación más elevado. Sólo el órgano tendinoso descarga durante la contracción muscular, haciéndolo más intensamente que durante el estiramiento.

2.2. Los reflejos de estiramiento

El **reflejo de estiramiento o miotático** tiene su origen en los husos musculares. Se diferencian dos componentes en el reflejo miotático: el componente fásico y el tónico. El componente fásico se pone de manifiesto en los estiramientos dinámicos y se revela en la maniobra clínica de golpear el tendón rotuliano con un martillo. Durante el estiramiento, los husos musculares, **sensibles a la velocidad y al alcance del estiramiento**, son estimulados a través de las terminaciones aferentes primarias Ia, activando las motoneuronas α del mismo músculo con la consiguiente contracción muscular y la inhibición de los músculos antagonistas. Por lo tanto, el estiramiento muscular afecta al huso muscular, que responde por vía refleja con un aumento de la cantidad de descarga que **se opone al estiramiento** mediante una progresiva contracción muscular. La respuesta de inhibición sobre los músculos antagonistas se lleva a cabo con la excitación de interneuronas inhibitoras por las fibras Ia. El nombre de este fenómeno es **inervación recíproca**. Otra interneurona inhibidora de importancia es la

célula de Renshaw, que limita temporalmente la activación de la motoneurona a e inhibe las interneuronas inhibitoras estimuladas por la fibra Ia, con lo que se desinhibe el músculo antagonista. Para que todas estas respuestas sean precisas, cada fibra Ia hace contacto con la mayoría de las motoneuronas del grupo muscular.

Hay que destacar también que el componente tónico del reflejo miotático constituye la base del tono muscular. En reposo existe una actividad de descarga que desencadena un cierto nivel de contracción del músculo. La cantidad de descarga depende de muchos factores como el tipo de entrenamiento, el estado emocional del sujeto, etc. (Snell, 1999).

El **reflejo tendinoso** tiene su origen en las fibras aferentes Ib. Su función es, a grandes rasgos, opuesta a la del reflejo miotático. La activación intensa de estos receptores produce la **relajación del músculo** y de sus agonistas, y la simultánea **contracción de los músculos antagonistas**. Ésta es la razón por la que se llamó a este comportamiento reflejo miotático inverso. Estudios recientes han detectado que el reflejo tendinoso es la expresión de un **sistema especializado en la medición de la tensión muscular**, mientras que el reflejo miotático lo es de un sistema más próximo a la medición de la longitud muscular. Por esta razón, el término “miotático inverso” no se ajusta a la naturaleza de aquél, pues su función no es exactamente oponerse a la acción del reflejo miotático.

Cuando la intensidad del estiramiento es muy elevada, excediendo un determinado punto crítico, se produce un reflejo que inhibe las motoneuronas excitadoras, y, como consecuencia, el músculo se relaja disminuyendo la tensión (Berne y Levy, 1988; Verril y Pate, 1982). Esto es posible cuando los impulsos son suficientemente potentes para frenar los impulsos excitadores que provienen de los husos musculares. Pensemos que los receptores tendinosos tienen un umbral de excitación más alto que los husos, y que por regla general las tensiones regulares o moderadas no los estimularán.

2.3. Respuesta al estiramiento estático y dinámico

La respuesta al estiramiento es diferente para las terminaciones sensitivas de los husos musculares (Ia y II). En un **estiramiento progresivo**, el terminal Ia (dinámica) aumenta los potenciales de acción, siendo mayores cuando el estiramiento es más rápido, mientras que en el terminal II (estática) la respuesta aumenta pero de forma menos acusada que en el primero. En un

estiramiento breve e intenso, la respuesta dinámica aumenta notablemente durante el estiramiento seguida por una zona de silencio también breve, mientras que las fibras II no se activan. En un **estiramiento oscilatorio** únicamente las terminaciones II responden tanto en el estiramiento como en el acortamiento (reposo), en oposición a las Ia que descargan sólo en el estiramiento. Evidentemente, el nivel de descarga en las fases de estiramiento dependerá de la velocidad. Finalmente, cuando liberamos un músculo de la tensión del estiramiento, vemos que las terminaciones Ia permanecen en silencio durante un tiempo, mientras que las secundarias continúan descargando (figuras 5.7 y 5.8).

Los husos se encuentran en gran número en los músculos que deben desarrollar movimientos de precisión, pero son escasos en los músculos que intervienen en movimientos toscos como el cuádriceps y el gemelo. Los receptores tendinosos poseen un umbral de excitación muy elevado y una baja sensibilidad al estiramiento en ausencia de contracción muscular. Ello sugiere que los estiramientos pasivos prácticamente no desencadenarán actividad en estos receptores.

Las características de su respuesta han sido estudiadas mediante el registro de los potenciales de acción de las fibras IIb. Al igual que las fibras II del huso muscular, el OTG es un receptor de adaptación lenta, presentando una fase dinámica y otra estática. En la fase dinámica aumenta la frecuencia de descarga, y en la estática, disminuye. La descarga de las terminaciones IIb, excepto para niveles bajos de tensión, es bastante regular y presenta una alta sensibilidad. Las fases dinámicas y estáticas aumentan con las tracciones más rápidas y de mayor amplitud, pero la respuesta de los OTG presenta una cierta alinealidad, es decir, que a medida que aumenta la tensión o el cambio de ésta respecto al tiempo, la respuesta no es proporcional. A pesar de ello, cuando la tensión aumenta, también tiende a aumentar la descarga de este receptor.

Los receptores tendinosos no pueden considerarse simplemente un mecanismo de alarma, sino que también intervienen informando al SNC sobre la fuerza generada y soportada por un músculo (reclutamiento de unidades motrices), permitiendo una cierta relajación del músculo sometido a una gran tensión, así como excitando los músculos antagonistas y frenando el movimiento articular en consonancia con los receptores cutáneos y articulares.

Destaquemos finalmente que los resultados y conclusiones de estos

estudios se han utilizado con mayor o menor acierto como justificación teórica de los procedimientos o técnicas de estiramiento.

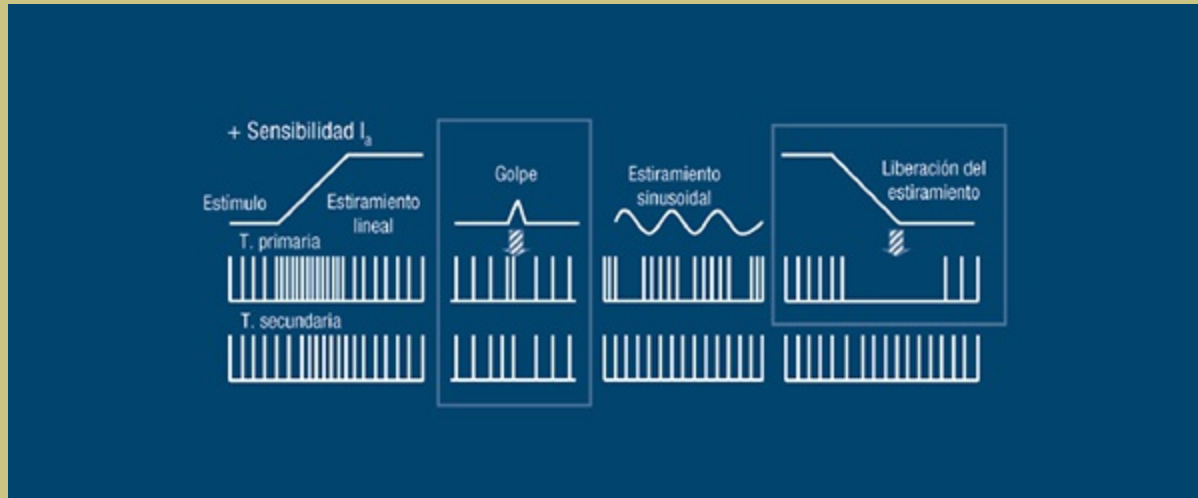


FIGURA 5.7. Respuesta al estiramiento de las terminaciones aferentes del huso muscular. Obsérvese la respuesta de la terminación primaria y la secundaria a diferentes tipos de estiramientos.

Adaptado de Calderón FJ y Legido JC. Neurofisiología aplicada al deporte. Tébar, 2002.

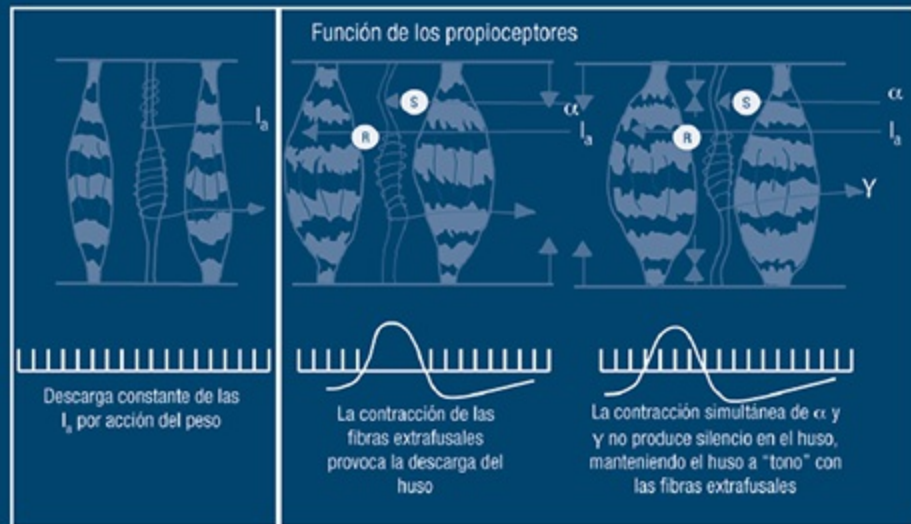


FIGURA 5.8. Representación de un músculo con dos fibras extrafusales y el huso muscular. En ausencia de inervación y durante la contracción, el huso no envía información, no registrándose potenciales de acción. En este caso es necesaria la inervación suplementaria que permita mantener informado al SNC sobre el grado de elongación.

Adaptado de Calderón FJ y Legido JC. Neurofisiología aplicada al deporte. Tébar, 2002.

2.4. Contribuciones neurales a la resistencia viscoelástica (*stiffness*) muscular

Durante los *drop jump* la actividad electromiográfica (EMG) es mayor que en los saltos desde parado, lo que sugiere una actividad eléctrica adicional en el músculo. Los reflejos musculares, y concretamente la **activación del reflejo miotático**, son los principales causantes de estas mejoras mediante un **aumento de la *stiffness* muscular**. Estudios realizados con gatos demostraron la contribución de la activación refleja sobre las propiedades mecánicas del músculo. Se comprobó que, cuando estiramos un músculo activado, la respuesta a diferentes amplitudes es más lineal que si los reflejos no están presentes. Esta constatación sugiere que las propiedades mecánicas

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

del músculo son moduladas por la activación refleja y que, por tanto, la *stiffness* se regula mediante esta actividad. En cualquier caso, establecer los efectos de los diferentes métodos de estiramiento sobre la rigidez muscular será crucial para optimizar el entrenamiento.

Síntesis

- ▶ Cuando la intensidad del estiramiento es muy elevada, excediendo un determinado punto crítico, el músculo se relaja disminuyendo la tensión como consecuencia de que los impulsos reflejos son suficientemente potentes como para frenar los impulsos de contracción que provienen de los husos musculares.
- ▶ Los músculos y las articulaciones tienen receptores que envían información al SNC sobre la tensión, longitud, presión y nocicepción. El huso muscular y el órgano tendinoso de Golgi son especialmente relevantes durante el estiramiento.
- ▶ Los husos musculares se acortan y estiran en la misma proporción que las fibras musculares, siendo los receptores de estiramiento más importantes. Sus fibras nerviosas tipo Ia son sensibles a la velocidad (respuesta dinámica) y a la longitud (respuesta estática), y sus fibras nerviosas tipo II sólo lo son a la longitud (respuesta estática).
- ▶ Los receptores tendinosos de Golgi se encuentran en el tendón, requieren un umbral de excitación más elevado que los husos musculares y son sensibles al aumento de la tensión del músculo, pero poco sensibles al estiramiento pasivo.
- ▶ El reflejo de estiramiento o miotático tiene su origen en los husos musculares. Durante el estiramiento muscular, el huso muscular activa una inervación recíproca, oponiéndose por vía refleja al estiramiento mediante una progresiva contracción muscular e inhibiendo los músculos antagonistas. Es de interés el hecho de que las células de Renshaw desinhiban temporalmente a los músculos antagonistas. Este reflejo es un sistema especializado en la medición de la longitud muscular.
- ▶ El reflejo tendinoso tiene una función opuesta al reflejo miotático, produciendo una relajación de los músculos agonistas y la simultánea contracción de los músculos antagonistas. Este reflejo es un sistema especializado en la medición de la tensión muscular.

Cuestionario de asimilación

- 1.** Indica cuáles son los principales receptores determinantes en los estiramientos y dónde se encuentran distribuidos.
- 2.** Establece las diferencias de respuesta al tipo de estiramiento entre los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi.
- 3.** Indica qué se entiende por la inervación recíproca causada por el reflejo miotático.
- 4.** Explica la relación que existe entre la tensión y longitud muscular y los distintos reflejos de estiramiento.
- 5.** Señala cuándo se consigue inhibir los husos musculares.
- 6.** Indica la relación que existe entre el reflejo miotático, la actividad electromiográfica y la fuerza muscular.

Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular

Gerard Moras Feliu

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los tipos de estiramientos utilizados para desarrollar la movilidad articular.
- Diferenciar el efecto que tienen los distintos tipos de estiramientos.
- Determinar el grado de movilidad articular requerido en las distintas modalidades deportivas.
- Comprender los distintos niveles de entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular.
- Conocer en qué situaciones del proceso de entrenamiento deportivo puede ser adecuado realizar estiramientos.
- Diseñar programas de entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular requerida en las distintas modalidades deportivas.

Índice

3.1. Tipos y variedad de estiramientos

Estiramiento estático y estiramiento dinámico

Estiramiento en tensión pasiva

El concepto de vigilancia muscular

Estiramiento en tensión activa

Vibraciones mecánicas en estiramiento

Electroestimulación del complejo musculotendinoso

Estiramientos dinámicos balísticos

Estiramiento por FNP (facilitación neuromuscular propioceptiva)

Estiramiento de cápsulas y ligamentos

Estiramiento de los músculos y ligamentos del tronco

Estiramientos con palpación sistemática

3.2. Tiempo óptimo de estiramiento

3.3. Efectos agudos y a largo plazo de los programas de estiramientos

3.4. Aplicación de los programas de estiramientos a las distintas modalidades deportivas

Justificación de los estiramientos estáticos para el desarrollo de la movilidad dinámica

Amplitud del movimiento residual

Tipos de estiramientos en función de la manifestación de movilidad en las distintas modalidades deportivas

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Establecidos los conceptos básicos de la movilidad articular, sus factores limitantes y los conceptos básicos de neurofisiología articular, el lector puede encontrar en este apartado las características de los tipos de estiramientos comúnmente utilizados para desarrollar la movilidad articular, sus efectos diferenciales y los componentes del entrenamiento. También se establece la asociación entre los tipos de estiramiento y el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento de la movilidad articular, resaltando su adecuación a las necesidades de las distintas modalidades deportivas. Finalmente, se aborda la utilidad de los estiramientos para otros objetivos del proceso de entrenamiento.

3.1. Tipos y variedad de estiramientos

Cuando una persona es sometida a un programa de estiramiento de intensidad progresiva, el cuerpo responde con una capacidad incrementada, es decir, con una adaptación al estímulo (Doherty, 1971).

Si la fuerza externa aplicada es demasiado alta, puede poner en peligro los tejidos que, como sabemos, a partir de un cierto umbral de tensión se deforman de manera permanente hasta finalmente alcanzar un punto de rotura. Además, el tono muscular y la rigidez del complejo musculotendinoso y de cada uno de sus elementos variarán en función de la sollicitación muscular. El conocimiento de las propiedades mecánicas de los tejidos blandos, junto con las características de la regulación neuronal, constituye el punto de partida para justificar los medios y métodos de estiramiento escogidos para el entrenamiento. Sin embargo, el reto no es nada fácil. Las preguntas que podemos hacernos son si es necesario estirar más allá del límite elástico, si debemos alcanzar o superar el punto de molestia y si el punto doloroso está por encima o por debajo del límite elástico (Alter, 1990; Cianti, 1990; Jones, 1975). A pesar de no tener datos concluyentes es posible, a partir del estado actual de las investigaciones, desarrollar una teoría del estiramiento para los deportes.

Estiramiento estático y estiramiento dinámico

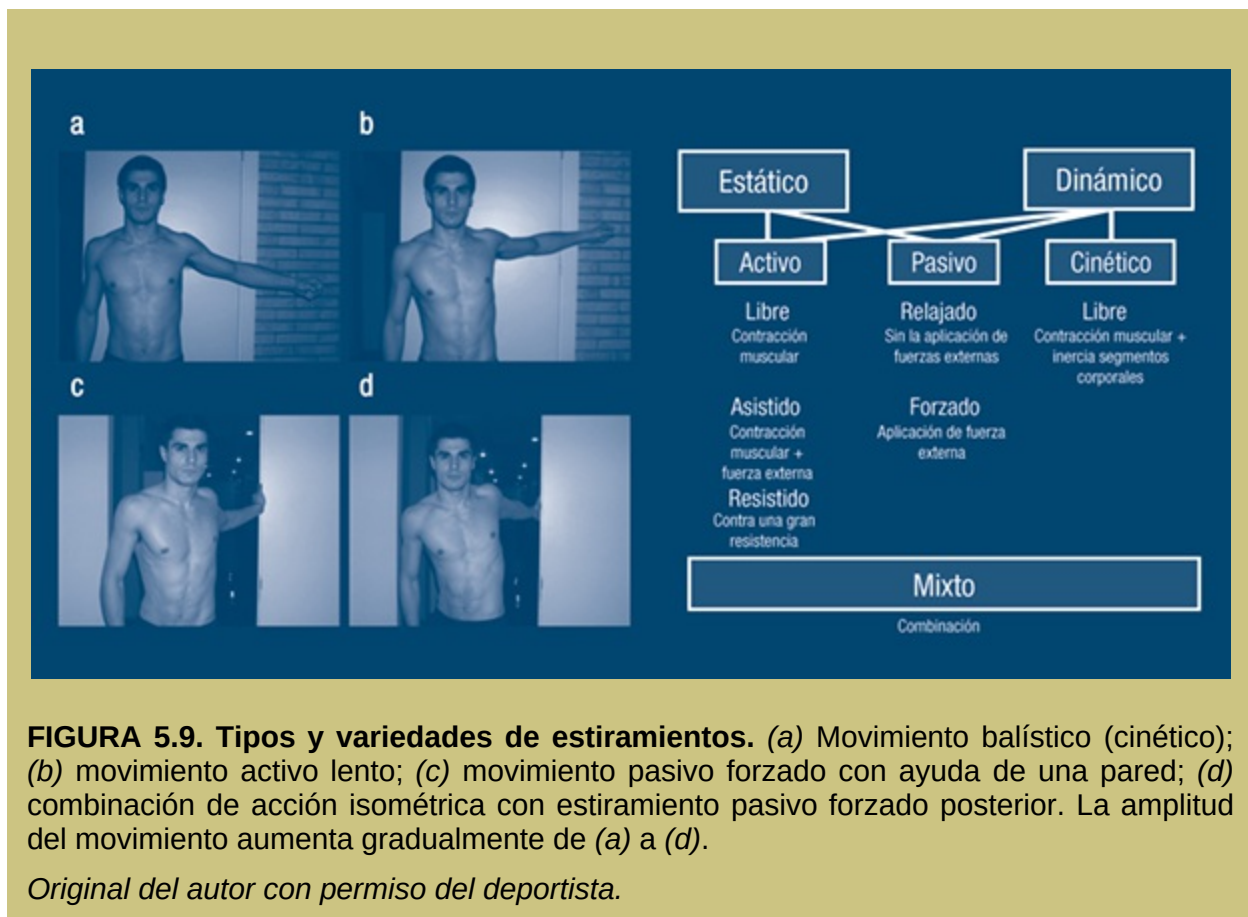
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En la bibliografía se describen dos tipos básicos de estiramiento: el **estiramiento estático**, referido a la ADM alcanzada en una o varias articulaciones mediante un recorrido lento por el arco de movimiento articular hasta alcanzar la posición de estiramiento final que normalmente se mantiene cierto tiempo, y el **estiramiento dinámico**, que se refiere a la ADM solicitada en una articulación durante la realización de un movimiento a velocidad media o acelerada (Cambone, 1990; Corbin y Noble, 1980).

El **estiramiento estático y el dinámico** pueden realizarse mediante movimientos **pasivos relajados** con la ayuda de la gravedad (sin acción muscular voluntaria), **pasivos forzados** con la ayuda de una fuerza externa (compañero oartilugio mecánico) o movimientos **activos** en los cuales el sujeto alcanza la posición final de estiramiento mediante la contracción de los músculos que producen el movimiento de una forma natural (Cianti, 1990). Además, en los movimientos **activos** el recorrido articular se denomina **libre** cuando se realiza con la fuerza de contracción de los músculos antagonistas; **asistido** cuando además de la fuerza de contracción de los músculos antagonistas el movimiento se realiza con la ayuda de una fuerza externa, y **resistido** cuando el movimiento activo se realiza contra la fuerza de una resistencia externa que se opone al movimiento (Porta, 1988; García Manso *et al.*, 1996) (figura 5.9). El punto de equilibrio para fijar el ángulo de la articulación en los movimientos libres, en los cuales la tensión muscular iguala la fuerza externa, se puede realizar de dos maneras: con la contracción de los músculos antagonistas y la relajación de los agonistas o con la cocontracción agonista-antagonista. El mecanismo de cocontracción, aunque disminuye la eficiencia, ya que implica la contracción de grupos musculares antagónicos, da una mayor estabilidad articular ante una situación imprevista en la que cambian las fuerzas externas. En la situación de contracción de antagonistas y relajación de agonistas se requiere el conocimiento previo de la carga. Por eso, un movimiento realizado por primera vez implica normalmente el mecanismo de cocontracción. Cuando ya nos hemos familiarizado con la carga a enfrentar, se pasa al mecanismo de mayor eficiencia energética (Snell, 1999). En los deportes caracterizados por un entorno inestable, los dos mecanismos serán necesarios para hacer frente a las diversas situaciones de juego.

Estiramiento en tensión pasiva

De todos los **estiramientos pasivos**, los forzados realizados normalmente por parejas deben ejecutarse con cuidado. En muchos casos estos estiramientos constituyen una práctica desaconsejable por el peligro de forzar excesivamente la articulación si la persona que manipula no posee las nociones necesarias del límite de resistencia o de fragilidad de los tejidos sometidos a tensión. El límite de resistencia de los tejidos es un factor individual que debería conocerse a partir de las sensaciones de la manipulación. Traccionar excesivamente provoca habitualmente dolor en la unión miotendinosa por ser la parte más débil de la estructura.



Las técnicas de estiramiento en tensión pasiva generalmente persiguen alcanzar una **ADM superior a la normal** y, por tanto, no pueden aplicarse a todos los grupos musculares independientemente de las necesidades individuales, tipo de músculos (acción corta o larga) y características del deporte practicado. En ocasiones, en algunas articulaciones los estiramientos pasivos y pasivos forzados consiguen alcanzar el tope articular óseo sin ser

un estímulo de estiramiento efectivo para mejorar la ADM. Éste es el caso de la flexión forzada de muñeca manteniendo el codo flexionado.

Los **músculos biarticulares**, y en algunos casos los **multiarticulares**, son los que en general deben ser sometidos con cierta regularidad a un programa de entrenamiento con estiramientos en tensión pasiva. La razón es su tendencia a aumentar la rigidez y convertirse en un freno a la correcta ejecución de ciertos movimientos técnicos.

También es de suma importancia **controlar el equilibrio bilateral**. Es posible que el entrenamiento y el tipo de actividad deportiva generen diferencias importantes en la ADM activa y la fuerza máxima entre segmentos corporales, lo que puede ser el origen de lesiones. Son de destacar los frecuentes desequilibrios en la relación de fuerza entre los músculos de la corva derecha y la izquierda. Para Burkett (1971), una diferencia de 10% o más puede suponer un elevado riesgo para los músculos más débiles. Las diferencias entre ADM pasivas también serán un buen indicador de ciertas descompensaciones que han de compensarse.

Los estiramientos en tensión pasiva son los que proporcionarán **mayores ganancias de ADM articular**, pero salvo pequeñas excepciones es preferible que los estiramientos se dirijan hacia el mantenimiento de la extensibilidad de los músculos o grupos musculares, regulando la complianza del sistema musculotendinoso en función del tipo de exigencia en el deporte. Lógicamente, siempre será necesario valorar las articulaciones por separado atendiendo a que la ADM es específica para cada articulación y movimiento de la articulación.

El concepto de vigilancia muscular

Los estiramientos miotendinosos no deben tener siempre el objetivo de aumentar la ADM articular. El objetivo principal debe ser desarrollar una ADM adecuada en el contexto de las necesidades del deportista, reforzando los tejidos para que sean capaces de resistir la tensión de la fase excéntrica sobre todo en movimientos realizados con elevadas aceleraciones. No se trata de alcanzar los límites articulares, sino más bien de asegurar la protección de la articulación (Spring, 1988).

Desde este punto de vista, no es adecuado estirar siempre un músculo relajado (estiramiento en tensión pasiva) para obtener su máxima longitud, sino que también es necesario **estirar un músculo activo** con la intención de

potenciar la vigilancia muscular. La **vigilancia muscular** permite regular el complejo sistema de cocontracciones musculares en las que se basa el cuerpo humano para moverse.

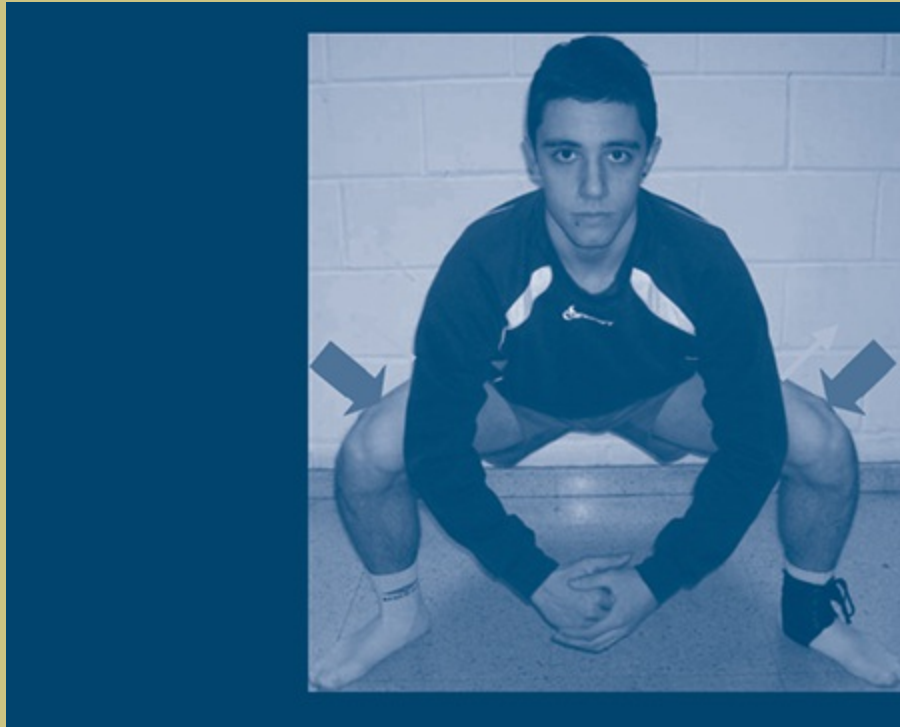


FIGURA 5.10. Estiramiento en tensión activa. Obsérvese la acción muscular de los aductores contra la oposición de los brazos mientras éstos fuerzan la abducción manteniéndose la acción muscular de los aductores.

Original del autor con permiso del deportista.

Si consideramos que los músculos están unidos entre sí por numerosas capas aponeuróticas, entenderemos que las tensiones musculares activas o pasivas generadas en un determinado grupo muscular son conducidas a través de sus tejidos hacia las palancas óseas, a la vez que afectan los tejidos circundantes. El estiramiento de los extensores de los dedos puede afectar los músculos del brazo e incluso ciertas porciones de los tejidos de la cintura escapular. Estos estiramientos de afectación global permiten una implicación muscular en cadena que constituye la base de muchos ejercicios de estiramiento en tensión activa y pasiva.

Estiramiento en tensión activa

El **estiramiento estático en tensión activa** consiste en mantener el músculo o grupo muscular en contracción antes y durante el estiramiento (Esnault y Viel, 2003) (figura 5.10). Este tipo de estiramiento se recomienda en la preparación para el entrenamiento y la competición. Su objetivo no es simplemente estirar un músculo o grupo muscular, sino también **asegurar la protección del músculo**. Pensemos que la actividad muscular excéntrica, o respuesta muscular en alargamiento, es usual en el curso de la actividad deportiva. A menudo las tensiones son bruscas e intensas y los movimientos descontrolados, suponiendo una verdadera contracción excéntrica origen de muchas lesiones (p. ej., roturas en los isquiotibiales de los jugadores de fútbol en el momento de golpear el balón).

La resistencia que ofrece un músculo al estiramiento puede ser modificada por una orden originada en los centros nerviosos superiores, como los cambios originados por la decisión de aumentar la tensión regulada por los husos neuromusculares o por una elevación del umbral de excitabilidad de los órganos de Golgi. En las reacciones musculares de sollicitación excéntrica crece la resistencia viscoelástica (*stiffness*) al aumentar la estimulación de los puentes de actina y miosina, al mismo tiempo que el alargamiento tiende a aumentar la tensión del músculo sollicitado. La realización de los estiramientos en tensión activa persigue reproducir en parte esta situación.

Las sensaciones desagradables (nociceptivas) durante el estiramiento en tensión activa son superiores a las del estiramiento en tensión pasiva. Son sensaciones dolorosas producidas por las aponeurosis de envoltura muscular, las láminas de tejido conjuntivo que atraviesan el músculo de parte a parte, la unión entre las miofibrillas y la lámina tendinosa (tendón oculto) y el tendón aparente. Estas estructuras están inervadas y responden al estiramiento.

Es aconsejable una iniciación lenta y gradual a este tipo de estiramientos pues en un principio causan molestias y sensaciones extrañas a las que los deportistas deben acostumbrarse.

Estiramientos dinámicos lentos en tensión activa

También es aconsejable realizar **estiramientos dinámicos lentos en tensión activa** para preparar la **vigilancia de la unidad musculotendinosa en un arco del movimiento** y no sólo en un punto concreto, como sucede en el

estiramiento estático en tensión activa. Este tipo de estiramiento puede ser de carácter general o específico.

El tipo **general** corresponde a movimientos con una débil correspondencia dinámica o coordinativa con alguna de las técnicas o movimientos específicos del deporte.

El tipo **específico** corresponde a movimientos que, aunque deben hacerse muy lentamente, deben tener correspondencia dinámica con algún movimiento técnico. Muchas veces tendrán una afectación diferenciada entre los segmentos corporales implicados, como en la batida de remate en voleibol o la entrada a canasta.

Vibraciones mecánicas en estiramiento

Nasarov (1991) fue el primer investigador que experimentó los efectos de la vibración mecánica sobre un grupo muscular en estiramiento. Comprobó que la **vibración mecánica en estiramiento** producía un **rápido aumento de la ADM** superior a la realización de ejercicios de estiramiento solos (Künne Meyer y Schmidtbleicher, 1997). La explicación se centró en una reducción del umbral del dolor y la estimulación de los órganos tendinosos de Golgi que generaban una elevada inhibición (Issurin *et al.*, 1994). Diversos estudios indican que la práctica de ejercicios de estiramiento aumenta la movilidad articular pero no modifica la longitud muscular, por lo que la causa central de las ganancias debe explicarse por un aumento de la tolerancia al estiramiento (Magnusson *et al.*, 2000; Halbertsma *et al.*, 1999). El **aumento de la tolerancia al estiramiento** puede ser también la explicación del aumento de la movilidad articular después de la vibración mecánica en estiramiento. A su vez, este aumento de la tolerancia puede no tener efectos sobre el riesgo de lesión (Pope *et al.*, 2000). Wiemann y Hahn (1997) recomiendan realizar antes de la vibración mecánica en estiramiento un calentamiento con contracciones excéntricas, y en este sentido destacan la bicicleta antes que la carrera.

Recientemente se han investigado los efectos de la aplicación simultánea de vibración mecánica con estiramientos. Kinser *et al.*, (2008) sometieron a un grupo joven de gimnastas femeninas a una vibración de 30 Hz y 2 mm simultáneamente con estiramientos y observaron un aumento de la flexibilidad sin disminución de los valores de la fuerza explosiva (figura 5.11).

La estrategia del cuerpo ante la exposición a la vibración será atenuarla al máximo a través de su absorción por los tejidos y las articulaciones. Los estiramientos con vibración mecánica pueden realizarse en tensión pasiva o activa y a ADM máximas o submáximas.



FIGURA 5.11. Simulación de la aplicación de vibración mecánica en estiramiento. En posición de estiramiento se aplica simultáneamente la vibración mecánica.

Original del autor con permiso de la deportista.

Electroestimulación del complejo musculotendinoso

La **electroestimulación neuromuscular** activa de forma artificial los músculos, imitando las condiciones fisiológicas de la contracción voluntaria. En algunos casos, como en ciertas patologías de la rodilla, permite conseguir tensiones musculares que voluntariamente no serían posibles.

Con esta técnica se puede actuar sobre la **estabilización activa de las articulaciones**, pero no sobre la pasiva en la que se encuentran implicados los ligamentos, la cápsula y, en ciertas articulaciones como la de la rodilla, los meniscos. A su vez, podremos actuar sobre determinados grupos musculares pero no sobre otros por su localización y tamaño. La mayoría de los estudios se han centrado en el músculo cuádriceps por su importancia y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

porque quizá sea uno de los músculos que mejor se adapta a esta técnica.

La electroestimulación tolera tres métodos diferentes de aplicación: la estática en acortamiento y en estiramiento, y la dinámica. Algunos grupos musculares toleran perfectamente las tres técnicas, pero otros, como los isquiotibiales o el tríceps sural, sólo toleran métodos estáticos. En este caso, los métodos dinámicos que consisten en acortamiento muscular voluntario acompañado de electroestimulación no son soportables.

Electroestimulación estática en estiramiento

La **electroestimulación estática en estiramiento** aplica estimulación eléctrica en un **músculo estirado o a estirar**. Aunque no existe una explicación clara, el músculo tolera mucha más intensidad que en la electroestimulación en acortamiento y en la dinámica, lo que supone un mayor reclutamiento de fibras musculares.

Este método permite fortalecer los músculos sin perjudicar las propiedades de los tejidos. Es más, la electroestimulación estática en estiramiento beneficia la respuesta de los tendones a la tracción (Basas, 2001, 1997). Sin duda, permite un fortalecimiento tendinoso, pues en cada contracción muscular el tendón se pone en tensión controlada que crece conforme aumenta la intensidad de la corriente. Los tendones responderán a este progresivo y controlado aumento de la tensión con un aumento de colágeno, lo que significará una mayor *stiffness* (Watkins, 1999). Por esta razón se convierte en un método **adecuado para el acondicionamiento de tendones después de una lesión** o para mejorar la respuesta de los tendones en las fases del entrenamiento de hipertrofia y coordinación intramuscular.

Con este método se consiguen notables ganancias de fuerza aunque con una total falta de especificidad (Strojnik, 1995; Fahey *et al.*, 1985; Romero *et al.*, 1982). Algunos autores defienden la utilización de la electroestimulación estática en estiramiento en combinación con la contracción voluntaria (Strojnik, 1995; Fahey *et al.*, 1985).

La utilización de este método es adecuada en situaciones de debilidad muscular (sin atrofia), descompensaciones musculares, acortamientos musculares, tendinosis crónicas y en las fases de readaptación al esfuerzo después de sufrir lesiones musculares.

En una correcta praxis, una vez colocados los electrodos, se debe estirar el músculo objeto de tratamiento hasta una posición de estiramiento submáxima

sin llegar a la sensación de dolor. En este momento, el ejecutor puede contraer los músculos antes de la estimulación artificial o simplemente dejar que la contracción sea inducida por el electroestimulador (figura 5.12). Si se utiliza la primera, después de comenzar la contracción voluntaria se aplicará corriente durante unos 4 seg, después de los cuales el ejecutor continuará durante unos segundos con la contracción voluntaria (Basas *et al.*, 2003). Después el deportista se relajará, pudiéndose realizar de 6 a 12 repeticiones en función de la afectación miotipológica y entre 3 y 4 series. El ejercicio se realiza en la misma posición o aumentando la ADM después de cada serie. La intensidad de la contracción debe estar en consonancia con las necesidades del deportista. La intervención voluntaria del ejecutor permite en cierto modo tener conexión de todo el sistema desde el cerebro.



FIGURA 5.12. Electroestimulación en estiramiento del cuádriceps.

Original del autor con permiso del deportista.

Lugo y Machado (Pérez *et al.*, 2001; Pérez, 1994) proponen en sus estudios la contracción voluntaria del antagonista en el momento en que ceda la estimulación eléctrica. Es una propuesta basada en los postulados de la neurofisiología.

Efectos de la electroestimulación en estiramiento

En las primeras sesiones es normal acusar los efectos lógicos de cualquier ejercitación desconocida. Salvo por mala realización, estos efectos no deben ser nocivos.

Al igual que en el ejercicio convencional, se notarán las agujetas, que estarán en función de la calidad del calentamiento, el nivel de entrenamiento de los músculos y la intensidad de la corriente. También se puede notar una leve irritación tendinosa. Finalmente, las agujetas también pueden aparecer en el antagonista. Al trabajar con altas intensidades, los órganos tendinosos de Golgi se activan inhibiendo las motoneuronas mientras que la contracción muscular no cede, ya que el sistema nervioso está activado artificialmente. La actividad del reflejo miotático es prácticamente nula, pues el vientre muscular está acortado y por extensión también lo están las fibras intrafusales. En esta situación es probable que intervenga un mecanismo de inhibición que intente frenar por otra vía la potente contracción, a la vez que contraerá de forma simultánea el antagonista. Ante esta situación no es de extrañar el riesgo de exponer los músculos a una tensión excesiva con el consiguiente riesgo de rotura muscular. Es importante que se entienda que cada deportista tiene una **intensidad de trabajo individual** y que en ningún caso más intensidad es sinónimo de mayor mejora.

La electroestimulación no se debe considerar un método sustitutivo de ningún otro. Este tipo de ejercitación ha de complementarse con otros métodos de estiramiento.

Estiramientos dinámicos balísticos

El **estiramiento dinámico balístico**, aunque muchas veces se asocia a una menor eficacia para aumentar la ADM, constituye un método válido y **efectivo para desarrollar la ADM activa** dentro del arco del movimiento articular. Wydra (1997), en un estudio de sondeo bibliográfico, comprobó que la eficacia del estiramiento rítmico no se diferenciaba de la del estiramiento estático (Wiemann y Hahn, 1997) y en algunos casos incluso era superior (Wydra *et al.*, 1991). Estos estudios resaltaron a su vez que en los movimientos dinámicos el aumento de la movilidad articular se manifestaba claramente en las primeras 3-5 repeticiones. Después, la amplitud aumentaba de manera insignificante (Wydra y Glück, 2000; Wiemann y Hahn, 1997).

Los estiramientos balísticos **forman parte de la mayoría de las acciones técnicas en los deportes**. En general, son estiramientos de poca amplitud pero que exigen grandes aceleraciones. Habitualmente no es necesaria una ejercitación especial, pues las exigencias del entrenamiento diario son suficientes.

Estiramiento por FNP (facilitación neuromuscular propioceptiva)

La **facilitación neuromuscular propioceptiva** (FNP) es una técnica mixta de estiramiento que desarrolló el neurólogo Herman Kabat junto a las fisioterapeutas Margaret Knott y Dorothy Voss a finales de la década de 1940 y principios de la de 1950. Basada en el modelo descriptivo sobre la actuación del sistema neuromuscular de la obra de Charles Sherrington (1947), tuvo una aplicación previa en el campo de la rehabilitación, pero pronto se comprobó que era mucho más que un método para el tratamiento de las parálisis.

Las técnicas de FNP se basan en la **alternancia de contracciones musculares y estiramientos**, y para muchos autores son con las que **se consiguen mayores aumentos en la movilidad articular** (Cornelius, 1983; Prentice, 1983; Surburg, 1983; Hatfield, 1982; Sady *et al.*, 1982; Sullivan *et al.*, 1982; Beaulieu, 1981; Cherry, 1980; Cornelius y Hinson, 1980; Hutton, 1980; Moore y Tanigawa. 1972; Holt *et al.*, 1970).

La FNP es un método que, según Knott y Voss (1968), favorece o acelera el mecanismo neuromuscular mediante la estimulación de los propioceptores. En un principio sus beneficios se explicaban a partir de una correcta regulación de la facilitación y la inhibición (Sherrington, 1947). De hecho, una técnica que favorezca la facilitación de un músculo agonista o principal promueve simultáneamente la relajación o inhibición del antagonista aunque exista cierta cocontracción. Las técnicas de FNP involucran los reflejos de estiramiento para conseguir la relajación muscular antes del estiramiento miotendinoso. Pero, en realidad, estos razonamientos no tenían en cuenta las posibles alteraciones de las propiedades de los tejidos y tampoco contemplaban que las técnicas de FNP aumentaran la actividad eléctrica muscular durante el estiramiento, cosa que no sucede en los estiramientos estáticos en los que los músculos presentan un relativo silencio eléctrico. Paradójicamente, las técnicas de estiramiento que obtienen mayores

incrementos de la ADM se asocian a una elevada respuesta EMG.

Las técnicas de FNP más usuales son el mantener (*hold*), relajar (HR), la contracción-relajación (CR), la contracción-relajación-antagonista-contracción (CRAC) y la contracción-relajación con autorresistencia (CRA).

HR (*hold-relax*)

Mantener-relajar. El instructor efectúa un preestiramiento pasivo del grupo muscular a estirar. A continuación el ejecutor realiza una acción isométrica de 3-4 seg contra la fuerza del instructor de acomodación (no al revés), seguida de una acción cuasi-máxima de 4-6 seg. Después el ejecutor se relaja, y transcurridos 3-4 seg, el instructor fuerza la articulación hasta el límite articular pasivo, que normalmente es ligeramente superior al anterior (figura 5.13).

Esta técnica es eficaz cuando la ADM de una articulación es reducida o si el movimiento dinámico activo causa dolor (Tous, 1999).

CR (*contract-relax*)

Contracción-relajación. El instructor efectúa un preestiramiento pasivo submáximo de 4-6 seg. A continuación el ejecutor realiza una contracción concéntrica de los músculos antagonistas de 4-6 seg mientras el instructor asiste al movimiento (estiramiento activo asistido). Después el ejecutor relaja unos segundos disminuyendo a la vez la ADM. Finalmente, el ejecutor realiza un estiramiento pasivo forzado de 10 seg mediante tracción (Viel, 1985). Este método es preferible al HR cuando la ADM no presenta restricciones y no hay dolor al movilizar la articulación.

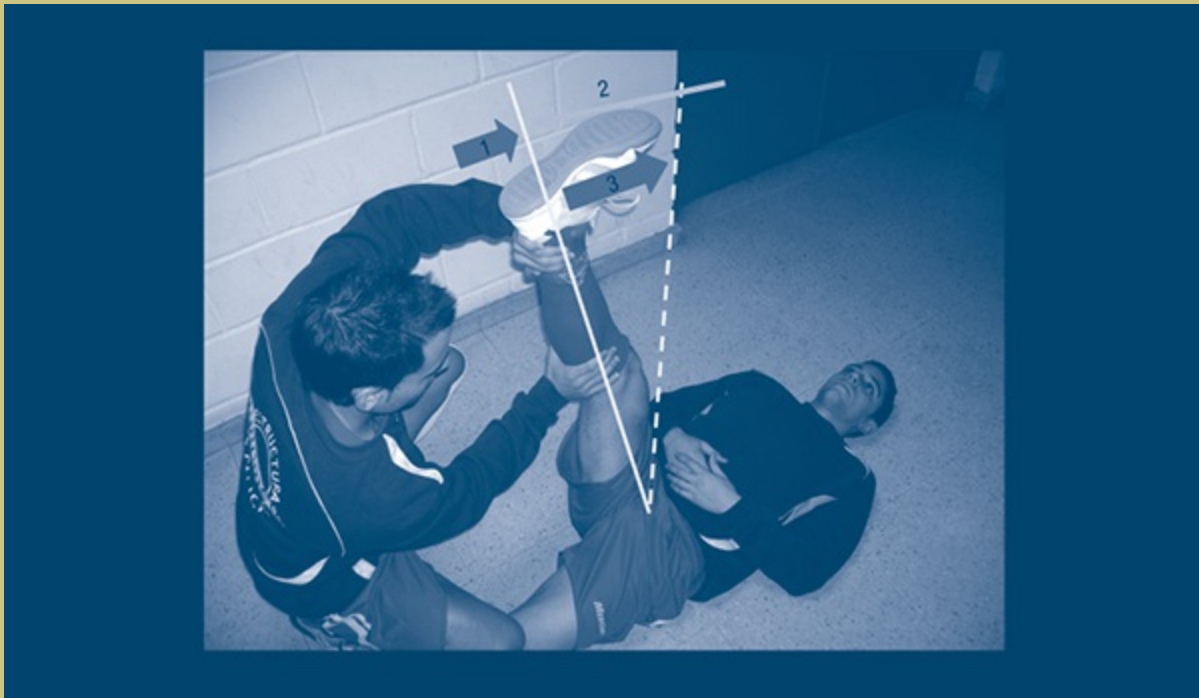


FIGURA 5.13. Estiramiento HR (*hold-relax*). 1: pasivo forzado; 2: acción isométrica contra la resistencia del compañero; 3: pasivo forzado.

Original del autor con permiso del deportista.

CRAC (contract-relax-antagonist-contrast)

Contracción-relajación-antagonista-contracción. Es igual que el HR, pero aquí el ejecutor mueve activamente la extremidad hacia una mayor ADM después de la acción isométrica. Esta contracción activa tiene como misión provocar la inhibición recíproca del músculo o grupo muscular estirado, lo que, como ya hemos explicado, puede no estar totalmente justificado.

CRA (contracción-relajación con autorresistencia)

Contracción-relajación con autorresistencia. Igual que la CR, pero con autorresistencia. Para algunos grupos musculares, por ejemplo, los isquiotibiales, es posible proceder a una tracción aplicada por el propio ejecutor. También es posible utilizar la ayuda de una resistencia externa. El número de repeticiones no debe ser superior a cuatro, ya que el alargamiento que se produce en las dos primeras repeticiones alcanza el 80% del total

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

posible (Esnault y Viel, 2003).

Estiramiento de cápsulas y ligamentos

Las cápsulas y los ligamentos constituyen la protección pasiva de las articulaciones. El **estiramiento de cápsulas y ligamentos** debe realizarse sólo si es preciso, y en este caso se hará con decisión e invirtiendo bastante tiempo. El fin que persigue es frenar el efecto conocido como memoria del tejido, que se traduce por una alta capacidad elástica para volver una y otra vez a su longitud inicial. La deformación plástica sólo se producirá por una tracción muy elevada y breve que sobrepasa el umbral de resistencia elástica del tejido y ocasiona una deformación plástica permanente o por la repetición constante de una tensión en posición forzada. Los ejercicios pasivos, que pueden alcanzar un alargamiento miotendinoso de hasta el 150% de la longitud en reposo, son los que mayor tensión pueden generar en las cápsulas y ligamentos.

Estiramiento de los músculos y ligamentos del tronco

El **estiramiento de los músculos y ligamentos del tronco** resulta complicado. Estirar algunos músculos del tronco es prácticamente imposible. Alrededor de la columna vertebral existe una densa capa de ligamentos (intertransversos, interespinosos, supraespinosos, etc.) que aseguran una gran estabilidad a aquélla mediante una reducida extensibilidad que puede alcanzar solamente un 20% a partir de la longitud en reposo. Si a esto sumamos las limitaciones estructurales por la forma y la orientación de las carillas articulares posteriores, es fácil entender esta reducida movilidad. Esta situación, que limita las **posibilidades de movilidad de la columna**, interfiere claramente con la extensibilidad de los músculos, que puede alcanzar el 35-45% respecto a la longitud en reposo. Por tanto, al no poder sobrepasar el límite impuesto por los ligamentos, los músculos se estiran muy poco. Al llegar al límite articular, **el freno es fundamentalmente ligamentario**, lo que supone una desagradable sensación. La única forma de solicitar el músculo es colocándolo previamente en tensión para después estirar. Cualquier otra estrategia no será efectiva.

La idea de que aumentar la ADM de la columna disminuye el dolor y el riesgo de lesión es totalmente infundada, y en algunos estudios una mayor

movilidad se ha asociado con problemas en la parte inferior de la espalda (Nachemson, 1992; Biering-Sorensen, 1984). Actualmente se insiste en alcanzar una elevada **estabilización de la columna** mediante ejercicios con una posición neutra de la columna (Hides *et al.*, 2001; Saal y Saal, 1989) mientras se movilizan las extremidades (Bridger *et al.*, 1992) (figura 5.14).

Otro punto a destacar es la elevada automatización de los músculos del tronco mediante una elevada inervación y, lo que permite una gran estabilidad a partir de la cual se ejecutan los movimientos segmentarios (Viel y Ogishima, 1977). En la preparación de los atletas es más importante desarrollar un bloque estable que buscar ADM elevadas.

Bompa (2000) establece como norma básica del entrenamiento que primero hay que desarrollar el tronco y luego progresivamente las extremidades. El razonamiento es lógico si pensamos que en la columna probablemente lo único que no desencadena dolores es el hueso al que aludimos constantemente. Los ligamentos y las cápsulas articulares están constituidos por porcentajes diversos pero altos de colágeno, atravesado por nervios capaces de desencadenar fuertes dolores y de transmitirlos a zonas alejadas del origen de la agresión. El colágeno es un tejido con memoria que lucha constantemente para regresar a su longitud en reposo y que es capaz de reparación espontánea. Es un tejido que tiende a volverse rígido con los años o después de un traumatismo, lo que se conoce como tejido endurecido.

Región lumbar

La parte inferior de la espalda está reforzada por dos grandes capas aponeuróticas que dan origen a varios músculos. Estas estructuras fibrosas están formadas por fibras orientadas en las direcciones de la tracción muscular. La capa profunda proporciona inserción a los músculos serrato menor y oblicuo menor, y la capa superficial suministra inserción a los músculos dorsal ancho y glúteo mayor (Esnault y Vile, 2003). Para que los **estiramientos de la región lumbar** sean efectivos, éstos se deben realizar fundamentalmente en tensión activa poniendo en tensión las capas aponeuróticas.



Equilibrio anteroposterior

La **relación de fuerza muscular entre los músculos abdominales y los extensores de la columna** se sitúa en un sujeto normal entre 0,7 y 0,8 a favor de los músculos de la espalda. Las personas que padecen algún tipo de alteración de la funcionalidad de la musculatura posterior por la aparición de dolor (lumbalgias) pueden presentar una relación cercana a 1 (Esnault y Viel, 2003; McGill, 2002).

Estiramientos con palpación sistemática

Los **estiramientos con palpación sistemática** fueron introducidos por Rothemberg y Rothemberg (1995) con el objetivo de **evaluar la tensión muscular** y la **focalización de la atención** del ejecutante en el entrenamiento con pesas. Consiste en la realización de palpaciones de la piel por un ayudante experimentado.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En los estiramientos en general, pero principalmente en los realizados en tensión activa, podemos utilizar la palpación sistemática de los músculos protagonistas con el objetivo de valorar mejor la tensión a la que se somete el complejo musculotendinoso, detectar los cambios de tensión en las fases del estiramiento y eliminar la tensión en los músculos que colaboran secundariamente en el movimiento o que no deben ser solicitados. Además, la palpación permite centrar mejor la atención en la zona que interesa trabajar. Es preferible desplazar las manos constantemente para evitar que los receptores cutáneos se adapten a la palpación. Estos movimientos deben realizarse en el sentido de las fibras musculares del músculo sometido a palpación. Si el estiramiento se realiza en tensión activa, es recomendable deslizar los dedos de la inserción proximal a la distal.

Es posible que durante la palpación sistemática se facilite la estimulación de los reflejos musculares actuando como un potente mecanismo de retroalimentación instantáneo (Tous, 1999).

3.2. Tiempo óptimo de estiramiento

El **tiempo óptimo de estiramiento** y la frecuencia deberían ser diferentes para las diversas técnicas de estiramiento y para los distintos grupos musculares. Es lógico pensar de esta manera si consideramos que los grupos musculares superficiales tienen una temperatura inferior en comparación con los más profundos y que los ángulos de pennación varían notablemente de unos músculos a otros (músculos de acción corta y larga). Es complicado controlar todas estas variables, por lo que se establecen en la literatura especializada unos tiempos medios de acuerdo con las modificaciones de la ADM.

La pregunta es cuánto tiempo es necesario estirar **de forma pasiva** para conseguir el incremento de longitud máximo. Probablemente, como apuntan algunos autores, en los primeros 12-18 seg se consiguen las adaptaciones más importantes. Proseguir con el estiramiento no supondrá modificaciones elevadas (Taylor *et al.*, 1990). En esta línea Bandy *et al.*, (1997) encontraron que 30 seg permitían la relajación del músculo estirado y se obtenían los máximos beneficios. Cuando el estiramiento se mantenía hasta los 60 seg, no se obtenían mejores resultados. Este razonamiento corrobora los estudios de Beaulieu (1981), quien defendía que posiciones de estiramiento mantenidas menos de 30 seg no permitían obtener los máximos beneficios del

estiramiento. Madding *et al.*, (1987) compararon 15, 45 y 120 seg de estiramiento estático y encontraron que 15 seg eran igual de efectivos que 120 seg. Otros estudios encontraron mejoras de la ADM en tiempos inferiores (Gajdosik, 1991; Teñiré y Lee, 1988; Raab *et al.*, 1988; Hardy y Jones, 1986), pero no permitieron establecer unos tiempos de estiramiento óptimos. En cualquier caso, se han realizado estudios con estiramientos comprendidos entre 15, 30 y 60 seg (Bandy *et al.*, 1997; Bandy e Iron, 1994), 120 seg (Madding *et al.*, 1987), 8 min (Bohannon, 1984), 10 min y 3 repeticiones de 5 min (Lentell *et al.*, 1992). En todos los casos las conclusiones son convergentes.

En cuanto a las **técnicas de estiramiento FNP**, basadas en una teórica óptima relajación de los músculos que facilite su estiramiento, es importante definir los tiempos de contracción isométrica. En general se recomiendan tiempos breves de contracción de 5 a 20 seg (Allerheiligen, 1994; Anderson y Burke, 1991). Sin embargo, la mayoría de los autores usan tiempos entre 5 y 7 seg (Etnyre y Abraham, 1986; Hardy y Jones, 1986; Sady *et al.*, 1982; Hartley-O'Brien, 1980; Tanigawa, 1972), y concretamente Hardy y Jones (1986) observaron que 6 seg de contracción isométrica eran superiores a 3 seg. Por otro lado, la longitud muscular en la que se realiza la contracción isométrica no parece afectar las ganancias finales de ADM (Hardy, 1985).

Es fácil clasificar el tiempo de estiramiento en de duración corta, larga y prolongada. Steven *et al.*, (2002) delimitan el tiempo de cada fase, siendo de duración corta los estiramientos de menos de 1 min, de duración larga cuando los estiramientos superan 1 min, y de duración prolongada cuando se realiza un programa de estiramientos de varios días, pudiendo ser estos estiramientos de duración corta o larga.

3.3. Efectos agudos y a largo plazo de los programas de estiramientos

Los **estiramientos estáticos y pasivos** mejoran la movilidad articular pero tienen poca incidencia en la **movilidad activa**, que está más relacionada con el nivel deportivo. La movilidad activa tiene una correlación más alta ($r = 0,81$) con el **rendimiento deportivo** que la pasiva ($r = 0,69$). La relación entre la flexibilidad activa y la pasiva depende del entrenamiento y particularmente de los tipos de estiramiento escogidos. Los métodos estáticos

pasivos obtienen una correlación entre la flexibilidad activa y la pasiva de 0,61-0,72 en función de la articulación examinada en deportes con una sollicitación de ADM normal. La realización combinada de ejercicios de estiramiento y fortalecimiento puede aumentar la correlación hasta 0,91, y concretamente los ejercicios de fortalecimiento deben realizarse cerca de la zona de movilidad deficiente (Holt y Smith, 1983; Holt *et al.*, 1970). Sin embargo, diversos estudios demuestran que los métodos estáticos y dinámicos son efectivos para desarrollar la ADM (Stamford, 1984; Sady *et al.*, 1982; Corbin y Noble, 1980; Logan y Egstrom, 1961).

Parece que la gran mayoría de autores están de acuerdo en que el **estiramiento estático o lento** es preferible al **dinámico o veloz**. Algunas razones son el menor desgaste energético, la baja activación del reflejo miotático y la adaptación de los tejidos al estiramiento (De Vries, 1980). Con el estiramiento se consigue un alargamiento en algunos grupos musculares de hasta un 150% respecto a la longitud en reposo. Pocos son los argumentos en contra de estos métodos estáticos y muchas las razones para evitar los movimientos dinámicos o rebotes. Entre ellos, la necesidad de que los tejidos absorban grandes cantidades de energía, los altos momentos angulares generados, la activación del reflejo de estiramiento, ser la causa de lesiones y producir dolor y generar más tensión en el músculo en relación con los estiramientos estáticos (Beaulieu, 1981). Con ellos se consiguen alargamientos menores que con los estiramientos pasivos, siendo en algunos grupos musculares del 120% al 130% respecto de la longitud en reposo (Esnault, 1986).

Los estiramientos dinámicos propios de los calentamientos pasaron a un segundo plano cuando Anderson (1987), Sölveborn (1987) y Knebel (1985), entre otros, empezaron a hablar de *stretching*. Los **estiramientos estáticos** tomaron protagonismo en el **calentamiento** y la fase final de **recuperación** de prácticamente todos los entrenamientos. La justificación de su inclusión fue la supuesta preparación de la unidad musculotendinosa al esfuerzo posterior mediante un aumento de la movilidad articular, la flexibilidad y la aún muy discutible reducción del riesgo de lesión (Wiemann y Klee, 2000).

Sin embargo, en los **deportes en general** y muy especialmente en el alto rendimiento es totalmente necesaria una **combinación de estos métodos en el entrenamiento** (Stamford, 1984; Corbin y Noble, 1980; Dick, 1980; Schultz, 1979). Sin ir más lejos, la regulación de la respuesta refleja será vital para el rendimiento en las acciones explosivas en la mayoría de las acciones

realizadas con elevadas aceleraciones (saltos, lanzamientos, golpes, desplazamientos entrecortados, etc.). Tidow (1997) estudió los estiramientos espontáneos de los perros y los gatos. Observó que estos animales no estiran los músculos protagonistas antes de un esfuerzo máximo. En general, están mucho tiempo parados y relajados, y cuando estiran lo hacen mediante un movimiento de desplazamiento del cuerpo hacia atrás y hacia abajo, manteniendo las patas delanteras delante del cuerpo y las patas posteriores en posición vertical. Finalizan el movimiento levantando la espalda y desplazándose hacia delante manteniendo las patas delanteras estiradas. Por regla general realizan a lo sumo uno o dos estiramientos bastante cortos y dinámicos. Este tipo de ejercitación tiene un cierto parecido a los estiramientos con contracción de los antagonistas de algunos programas de entrenamiento.

No obstante, debemos ser conscientes de que las adaptaciones obtenidas con los estiramientos estáticos y dinámicos no serán las mismas. Los estiramientos dinámicos no permiten adaptaciones rápidas de los tejidos al estiramiento. Estos tipos de movimiento generan tensiones elevadas en tendones, aponeurosis y fascias, y no permiten estirar el músculo en la misma proporción que los métodos estáticos, ya que favorecen la deformación elástica recuperable del tejido (Warren *et al.*, 1976, 1971; Laban, 1962). Las investigaciones han demostrado que es más fácil alcanzar una ADM superior de forma permanente con estiramientos realizados con una fuerza pequeña que se aplique durante bastante tiempo y a temperatura elevada, que con cargas más elevadas aplicadas poco tiempo (Light *et al.*, 1984; Warren *et al.*, 1976 y 1971; Laban, 1962). Walker (1961) y Granit (1962) estudiaron este fenómeno demostrando que estirando un músculo con brusquedad con una fuerza determinada se producía una frecuencia de impulso aferente muy superior a la que se obtenía con un estiramiento más lento hasta aplicar la misma fuerza.

Es evidente que el **estiramiento balístico** genera momentos angulares elevados que a veces no se pueden controlar, superando la capacidad de los tejidos para absorber el exceso de tensión. Esto puede provocar dolor y ser el origen de ciertas lesiones. Pero en los diferentes deportes los estiramientos balísticos deberían enmarcarse dentro de los **arcos del movimiento de sollicitación técnica**, que en la mayoría de los casos no serán ADM máximas. Pensemos que los estudios realizados hasta el momento se basan en sollicitaciones máximas que a nuestro entender no se corresponden con las

necesidades de los atletas. Es necesario replantear los objetivos de cada modalidad de estiramiento y dar a los movimientos balísticos una aplicación diferente sobre la base de aspectos cualitativos del movimiento. Querer relacionar este tipo de movimiento con un aumento total de la amplitud del movimiento es absurdo, como lo es pensar siempre en movimientos de gran amplitud con movilización de los segmentos corporales a gran velocidad. Si bien estos estiramientos tienen cabida en deportes como el taekwondo, en otros deportes no sucede lo mismo, y probablemente aquéllos no deben ser aplicados de manera indiscriminada.

De particular interés puede ser el hecho de que, para una misma cantidad de estiramiento del tejido, un método de estiramiento que someta a tensiones elevadas producirá más debilitamiento transitorio estructural que un método menos agresivo (Warren y cols 1976, 1971). Esta apreciación es de vital importancia para evitar técnicas de estiramiento antes del entrenamiento que sometan a los tejidos a grandes tensiones, como sucede con todos los **estiramientos pasivos forzados y los métodos FNP**. Este tipo de estiramiento debe realizarse preferiblemente en **sesiones aisladas**.

En realidad, los estiramientos incrementan la ADM de la articulación mediante una reducción de la viscoelasticidad, con el consiguiente incremento de la complianza muscular (Shrier, 2002; Shrier y Gossal, 2000; Magnusson *et al.*, 1996; Wilson *et al.*, 1992). El estiramiento afecta a la viscoelasticidad del músculo y del tendón, pero la duración de los efectos es breve (Taylor *et al.*, 1990). Magnusson *et al.*, (1996) encontraron que las mejoras de la ADM se perdían a los 60 min del estiramiento.

Ahora bien, los estiramientos afectan la viscoelasticidad de los músculos en reposo, pero no a la complianza de los músculos activos. La complianza de los músculos en reposo depende casi exclusivamente de la resistencia de los tejidos (Horowitz *et al.*, 1986; Magid y Law, 1985), mientras que la complianza de los músculos activos es directamente proporcional al número de puentes cruzados activos (Sinkjar *et al.*, 1988; Rack y Westbury, 1974). Como las lesiones deportivas ocurren cuando el músculo está activo, la complianza en la actividad es más importante que la que existe en el reposo.

El estiramiento puede actuar como un analgésico, siendo las técnicas de FNP las que obtienen los efectos más pronunciados. La explicación reside en que en realidad el músculo en el estiramiento por FNP realiza un estiramiento en contracción (acción excéntrica). Los avances tecnológicos fueron en realidad los que permitieron explicar este fenómeno. Las técnicas de FNP

propuestas a principios de 1970 se basaban en la inhibición recíproca como base neurofisiológica que proporcionaba una relajación del músculo antes de ser estirado (Tanigawa, 1972). Cuando se empezó a utilizar los registros EMG en 1979, la teoría de la inhibición recíproca fue rechazada (Magnusson *et al.*, 1996; Ostering *et al.*, 1987; Moore y Hutton, 1980; Markos, 1979). En realidad, los músculos están eléctricamente en silencio en un estiramiento pasivo pero, sorprendentemente, las técnicas de FNP aumentan la actividad eléctrica del músculo en el estiramiento y, a pesar de ello, la ADM aumenta (Magnusson *et al.*, 1996; Halbertsma y Goeken, 1994; Moore y Hutton, 1980). Esto sugería que la FNP estaba asociada a un potente efecto analgésico.

Muchos estudios han demostrado que la ADM aumenta después del entrenamiento con estiramientos, aunque los resultados aportados por diferentes autores son controvertidos. Toft *et al.*, (1989) encontraron una reducción del 36% de la tensión pasiva de los flexores plantares después de un programa de 3 semanas de estiramientos pasivos. Algunos autores matizan que las técnicas que incluyen contracción del agonista o el antagonista son las más efectivas (Cornelius *et al.*, 1992; Ostering *et al.*, 1990; Etnyre y Abraham, 1986; Sady *et al.*, 1982; Moore y Hutton, 1980; Holt *et al.*, 1970). Otros autores no encuentran diferencias entre las diferentes técnicas de estiramiento. Lucas y Koslow (1984), de Vries (1961) y Starring *et al.*, (1988) defienden ciclos pasivos de estiramiento en vez de un estiramiento mantenido.

Más tarde Wilson *et al.*, (1992) observaron que un **entrenamiento de flexibilidad** reducía la *stiffness* del complejo musculotendinoso aumentando la **utilización de la energía elástica** durante la realización de una prensa de pecho horizontal con cargas elevadas. Estos resultados indicaban que un programa de estiramientos modifica las propiedades viscoelásticas del tendón mejorando las prestaciones en movimientos CEA relativamente lentos (2 seg) y empeora en movimientos CEA en los que la fase de contacto es muy breve (100 mseg) (Komi, 1983). En este caso, el rápido desarrollo de la fuerza no permite la reutilización de la energía elástica, beneficiándose de un complejo musculotendinoso con más *stiffness*. A su vez, un complejo musculotendinoso con más *stiffness* fue más rentable en acciones concéntricas e isométricas, ya que permitía transmitir la tensión del elemento contráctil más eficientemente a las palancas óseas. Estudios parecidos pero realizados en las extremidades inferiores detectaron que un complejo

musculotendinoso con más *stiffness* se correlacionaba negativamente con algunas acciones CEA y positivamente con acciones isométricas y concéntricas (Walshe *et al.*, 1996). Concretamente, un sistema más distensible tiene mayor capacidad de trabajo en DJ realizados desde alturas grandes de 80 a 100 cm, y se obtenían rendimientos parecidos desde alturas menores (Walshe y Wilson, 1997; Walshe *et al.*, 1996). Posteriormente, Young y Elliott (2001) y Güllich y Schmidtbleicher (2000) indicaron también que el estiramiento estático previo al entrenamiento producía una significativa reducción del rendimiento en los DJ. Probablemente, la razón esté en la potenciación del mecanismo de inhibición, muy determinante en este tipo de sollicitación, en la menor capacidad funcional de aprovechamiento de la energía elástica y en una posible asincronía entre la fase de contacto y la respuesta concéntrica del movimiento (Wilson, 1991).

Cornwell *et al.*, (2001) relacionaron a su vez la reducción de la *stiffness* musculotendinosa como resultado de un programa de estiramientos con una reducción de la potencia en el SJ y el CMJ. La disminución en el SJ puede explicarse por la reducción de la transmisión de la fuerza a las palancas óseas y por un aumento de la complianza de los tendones. La disminución del rendimiento en CMJ sólo puede explicarse, según estos autores, por una incapacidad para aprovechar la energía elástica acumulada como resultado de un complejo musculotendinoso más distensible (Kokkonen *et al.*, 1998; Davies *et al.*, 1992), aunque también debería contemplarse el posible aumento transitorio de la inhibición. Por el contrario, los estiramientos con FNP y máxima contracción voluntaria de los extensores de las piernas no tuvieron efectos significativos en las acciones concéntricas y CEA. En cuanto a la fuerza producida en las acciones excéntricas, no se encontró relación alguna con la *stiffness* del sistema musculotendinoso.

Todas estas constataciones tienen grandes aplicaciones en el entrenamiento. Pensemos, por ejemplo, que en algunas acciones los deportistas deben desarrollar niveles elevados de fuerza concéntrica e isométrica, pero en la mayoría de los casos las acciones son CEA.

En conclusión, la ***stiffness* del sistema musculotendinoso** puede modificarse con el entrenamiento de flexibilidad y de fuerza máxima. El **entrenamiento de flexibilidad** tiende a reducir la *stiffness* del complejo musculotendinoso, mientras que el **entrenamiento de fuerza** máxima lo aumenta. Concretamente, Kubo *et al.*, (2002) encontraron que el entrenamiento al 70% 1RM aumentaba la *stiffness* del tendón así como la

fuerza muscular, y los programas de entrenamiento de la flexibilidad afectaban la viscosidad del tendón pero no su elasticidad.

Como se puede deducir de lo comentado hasta ahora, es necesario establecer las diferencias entre la *stiffness* del complejo musculotendinoso entre deportistas y los efectos agudos de los ejercicios de estiramiento sobre el rendimiento en las acciones explosivas.

Unos músculos relativamente distensibles son preferibles para hacer frente a las acciones explosivas de la mayoría de los deportes, pero esto no significa que los estiramientos pasivos forzados realizados después del calentamiento mejoren las prestaciones del rendimiento en el entrenamiento. Por eso es preferible que los estiramientos pasivos se realicen, dentro de lo posible, de forma separada o aislada de los entrenamientos en los que se reclamen grandes aceleraciones o bien al final de las sesiones.

Antes de avanzar, hay que comprender que no todos los grupos musculares deben tener el mismo tratamiento. En la carrera, los cuádriceps reducen la *stiffness* a la vez que los isquiotibiales la incrementan. Esto supone que los isquiotibiales deben tener un tratamiento diferenciado para frenar en lo posible esta tendencia. En este caso, y en otros similares, puede justificarse la utilización de estiramientos pasivos antes del entrenamiento. Sin embargo, los ejercicios de estiramiento realizados no deben alterar excesivamente la respuesta neuromuscular del sistema. Como sabemos, existen complejas relaciones entre los grupos musculares, lo que significa que la modificación de las propiedades mecánicas o alteraciones neuronales de una parte del sistema afecta irremediablemente su totalidad.

También puede ser de mucha ayuda resaltar que una *stiffness* excesivamente elevada del complejo musculotendinoso puede ser un factor importante en el aumento del riesgo de lesión muscular (Wilson *et al.*, 1991). Para minimizarlo, no hay que aumentar de forma desmesurada la complianza del sistema, sino optimizar en lo posible la relación entre el volumen de trabajo dedicado a los estiramientos en tensión pasiva y en tensión activa.

Sabiendo que los **estiramientos pasivo y pasivo forzado** de los músculos agonistas previos a la realización de acciones CEA técnicas cortas (batida de remate en voleibol, entrada a canasta en baloncesto, aceleraciones y cambios de ritmo en fútbol o balonmano, etc.) pueden afectar negativamente el **rendimiento**, es más aconsejable realizar durante el calentamiento estiramientos estáticos breves en tensión activa y estiramientos dinámicos, dejando los estiramientos en tensión pasiva para la fase de recuperación

postesfuerzo (Wiemann y Klee, 1992) y para las sesiones específicas aisladas de estiramientos.

Un programa de estiramiento estático intenso previo al entrenamiento sólo se puede admitir en aquellos deportes en los que para obtener prestaciones elevadas es necesario alcanzar una ADM muy elevada, como sucede en algunos deportes individuales como la natación en la modalidad de espalda (articulación escapulohumeral) o la gimnasia artística en las articulaciones escapulohumeral y coxofemoral (Wiemann y Klee, 2000). Sin embargo, para la mayoría de los deportes y articulaciones es muy difícil su justificación debido a que no se precisa una ADM excesivamente elevada (Moras, 2003).

Además de las propiedades viscoelásticas de los diferentes tipos de fibra, también afecta el rendimiento en las acciones de salto el tiempo empleado en la fase excéntrica del CEA. Los jugadores con un porcentaje alto de fibras rápidas (FT) en el vasto lateral del cuádriceps obtuvieron rendimientos más elevados en los tests de salto realizados a velocidades altas, con una fase de estiramiento de poca amplitud. En cambio, los jugadores con un predominio de fibras lentas (ST) obtuvieron resultados mejores al realizar saltos con una amplitud superior y una fase negativa mayor. Estas constataciones pueden tener relación con la vida de los puentes cruzados de las fibras ST y FT. Las fibras ST pueden mantener los puentes cruzados más tiempo y alcanzan el pico de potencia más tarde (Bosco *et al.*, 1982). Por tanto, las fibras FT, aun siendo más distensibles, necesitan ADM más pequeñas y velocidades altas para optimizar la respuesta del elemento contráctil.

Podemos decir entonces que el tiempo es una variable importante que determina alteraciones transitorias. En la prensa de pecho con porcentajes de carga elevados respecto a 1RM y los DJ a 80 y 100 cm el movimiento es lento, y por eso un sistema más distensible permite la reutilización eficiente de la energía elástica con una moderada actividad del reflejo miotático. Cuando el movimiento excéntrico es breve o el tiempo de contacto es pequeño (250 mseg), un complejo musculotendinoso con más *stiffness* dará mayores rendimientos (Young *et al.*, 1998), ya que permitirá transmitir con mayor rapidez la tensión a las palancas.

Los **estiramientos estáticos y dinámicos** disminuyen el rendimiento de 1RM (Kokkonen *et al.*, 1998). Esta disminución de la fuerza postestiramiento puede persistir hasta 60 min (Fowles *et al.*, 2000). Estos estudios presentan pérdidas parecidas entre los dos tipos de estiramiento que oscilan entre el 7,3% (estático) y el 7,5% (dinámico balístico). La pérdida transitoria de

fuerza máxima en los dos tipos de estiramiento puede explicarse, por una parte, por mecanismos neurológicos y, por otra, por la alteración de las propiedades mecánicas del músculo. Los estiramientos estáticos y dinámicos balísticos utilizan diferentes mecanismos neurológicos que conducen a la inhibición autógena. Concretamente, los estiramientos balísticos activan el reflejo miotático, y los estiramientos estáticos, el reflejo miotático inverso.

Los estiramientos pasivos, sin manifestar signos externos de lesión, producen una inflamación de las células musculares que se detecta por unos valores elevados de neutrófilos. Esto induce un mecanismo de protección frente a situaciones forzadas de contracción en estiramiento que puede resultar decisivo frente a ciertos movimientos de gran amplitud o descontrolados (Pizza *et al.*, 2002). Sin embargo, considerar los estiramientos una protección contra el dolor muscular de inicio retardado (DOMS) (High *et al.*, 1989) es todavía un tema controvertido.

Los **resultados nocivos del estiramiento** pueden ser la hipermovilidad, la hipomovilidad y la inestabilidad articular. El movimiento reducido o hipomovilidad puede ser miofascial, pericapsular o patológico mecánico (Meadows, 2000). La hipomovilidad miofascial la produce un acortamiento del músculo y de la fascia. La hipomovilidad pericapsular la causa un acortamiento de la cápsula articular o de los ligamentos. La hipomovilidad patológica mecánica o por subluxación es un problema biomecánico, con bloqueo de la articulación en un extremo del arco del movimiento y bloqueo del movimiento en sentido opuesto a este extremo del arco.

Dentro de la movilidad excesiva diferenciamos hipermovilidad por inestabilidad. En biomecánica clínica, la hipermovilidad es una situación en la que el arco del movimiento fisiológico es mayor de lo normal, pero sin que esto suponga la existencia de movimientos nuevos que no tendrían que darse. En cambio, hablamos de inestabilidad cuando precisamente aparecen movimientos que no deberían darse o que normalmente la persona que manipula no debería percibir en la exploración.

3.4. Aplicación de los programas de estiramientos a las distintas modalidades deportivas

Justificación de los estiramientos estáticos para el

desarrollo de la movilidad dinámica

La importancia que la flexibilidad y la elasticidad tienen en deportes como la gimnasia artística, el taekwondo y los saltos de trampolín difiere mucho de las necesidades de la mayoría de los deportes. Esta evidencia ha conducido a entrenadores y preparadores físicos de algunos deportes a considerarlas cualidades de poca entidad (Hubley y Kozey, en MacDougall *et al.*, 1991), aunque en realidad siempre estén presentes en la programación de la mayoría de los entrenamientos.

A pesar de que la flexibilidad es involutiva y está influida por factores genéticos (Rodas *et al.*, 1997), es evidente que la práctica de una modalidad deportiva puede modificarla en función de las necesidades y exigencias deportivas. Sin embargo, es normal no detectar diferencias significativas entre deportes si la técnica no exige ADM elevadas (Moras, 2003). Si consideramos además que la flexibilidad es específica para cada articulación y movimiento de la articulación, nos aproximamos al concepto de **ADM articular adecuada para cada articulación** en función de las necesidades o **exigencias del deporte**, que no debe confundirse con una estimación de la ADM máxima en una manipulación pasiva o pasiva forzada. En realidad, una valoración exhaustiva de la ADM de una articulación debe realizarse a partir de las complejas relaciones que se producen entre las diferentes **formas de recorrer el arco del movimiento**: movilización activa, pasiva, pasiva forzada y balística (figura 5.15), y hacerse en diferentes planos.

Los estiramientos pasivos, especialmente los pasivos forzados, permiten alcanzar una ADM muy superior a la conseguida con los estiramientos dinámicos. Este aspecto es determinante para la programación de los ejercicios de estiramiento en determinadas modalidades deportivas. Aunque la mayoría de las acciones motrices deportivas son dinámicas, en algunas acciones de determinadas modalidades deportivas, una ADM estática reducida puede limitar el rendimiento, ya que constituye el techo de las posibilidades de movilidad de la articulación. Ciertamente, el deportista sólo puede manifestar en una acción dinámica un determinado porcentaje de la ADM estática. De esta forma, un **déficit de la ADM estática limita la ADM dinámica** manifestada en una determinada acción motriz, y, en consecuencia, cuando las acciones motrices requieren una elevada ADM dinámica, sólo es posible incrementar ésta si previamente se ha desarrollado la ADM estática. Lógicamente, para las acciones motrices deportivas que requieren la

manifestación de una gran ADM estática, únicamente el mayor desarrollo de la ADM estática en competición permite una mejora del rendimiento deportivo. Así, siguiendo con la filosofía conceptual de este manual, para determinadas acciones motrices la **movilidad estática** constituye el **factor de rendimiento básico** determinante para mejorar el factor de rendimiento específico de la competición, habitualmente la **movilidad dinámica** y en ocasiones la movilidad estática (figura 5.16).

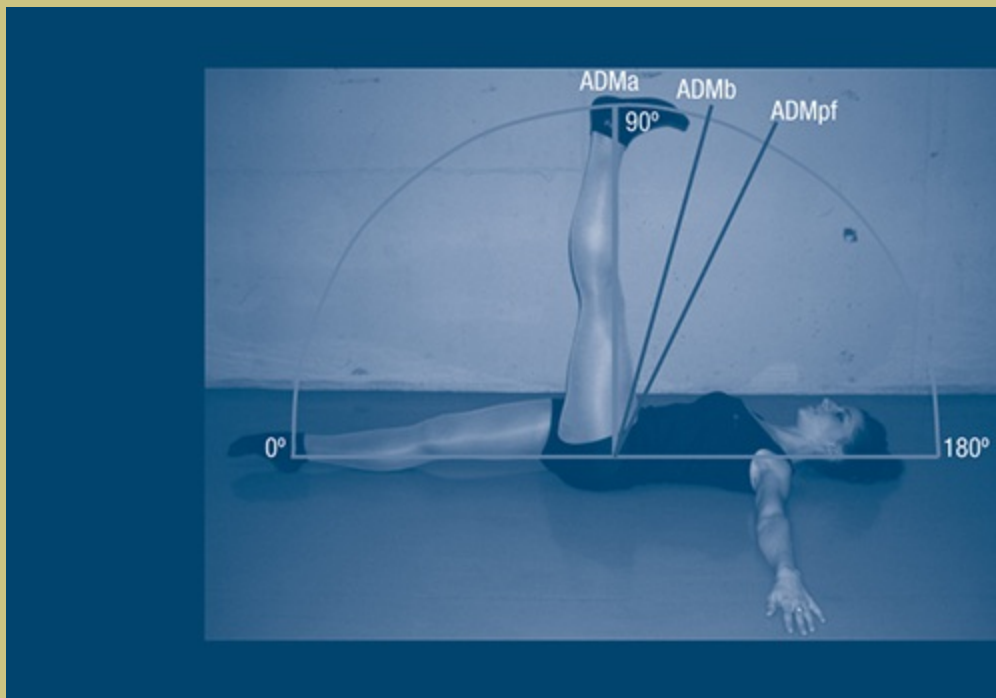


FIGURA 5.15. Las diferentes formas de recorrer el arco del movimiento articular. ADMa: movilización activa; ADMb: movilización balística; ADMpf: movilización pasiva forzada. Obsérvese el incremento de movilidad con los diferentes tipos de estiramiento.

Original del autor con permiso de la deportista.

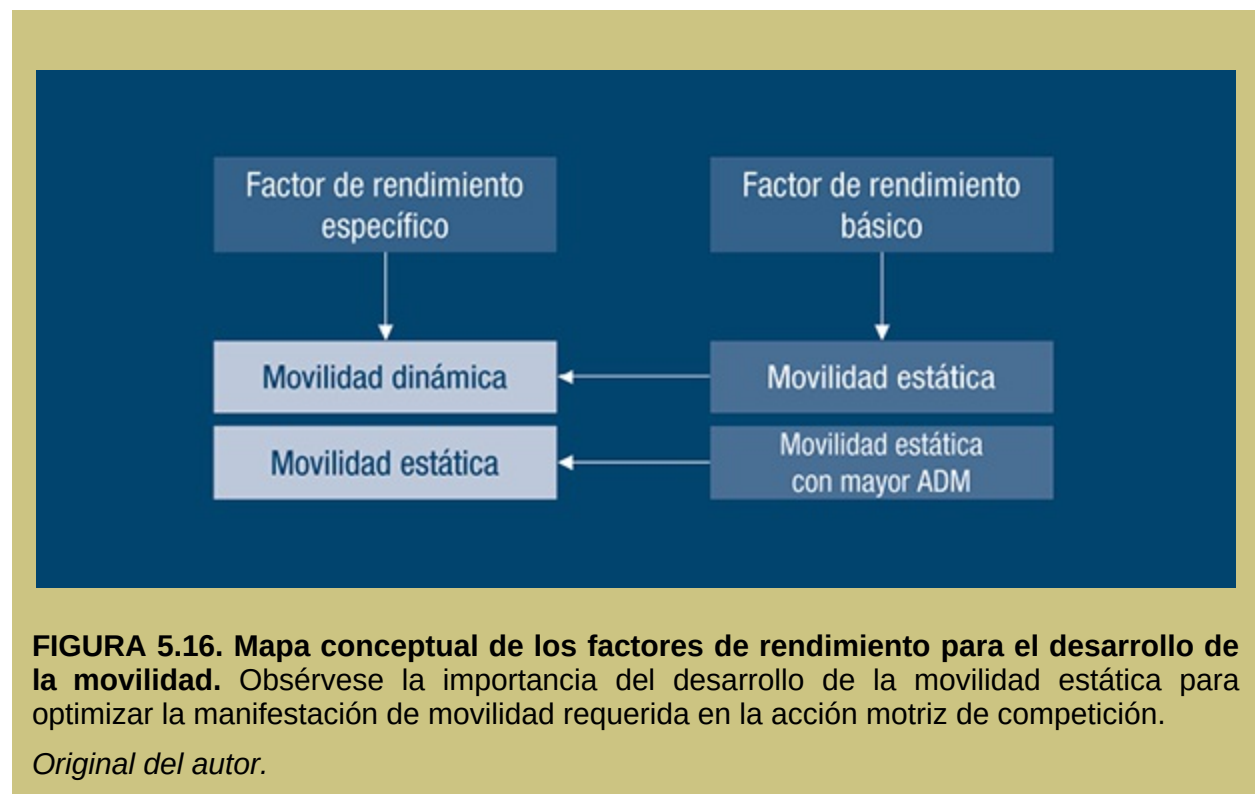
Amplitud del movimiento residual

La ADM pasiva forzada, siempre superior a la activa, determina los límites de movimiento de la articulación en el plano y eje de trabajo. Una **limitada ADM pasiva forzada** supone un **freno a las posibilidades de movimiento activo y balístico** de la articulación, y en ciertos movimientos puede suponer un problema para el buen desarrollo de la técnica. Un ejemplo es una ADM

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

limitada en la cintura escapular en los jugadores de waterpolo, balonmano o voleibol.

La **ADM residual**, que se define como la **diferencia en grados entre ADM pasiva (pasiva forzada) y activa**, es supuestamente un buen indicador del nivel deportivo (correlación alta) y para algunos autores del riesgo de lesión (Iashvili, 1982). No obstante, debemos insistir en que no hemos encontrado estudios concluyentes en este sentido. Shrier (2002), en un completo estudio, constató que de 293 artículos revisados sólo 14 utilizaron un grupo de control, y de ellos 5 artículos sugerían que el estiramiento reducía el riesgo de lesión, tres defendían que era perjudicial y seis no encontraban diferencias. Probablemente la pregunta no debe ser simplemente si una determinada ADM residual puede prevenir lesiones sino también si un determinado porcentaje puede contribuir al **rendimiento deportivo**.



La ADM residual (ADMR) puede expresarse asimismo a partir de la relación entre ADM pasiva forzada (ADMp) y balística (ADMb), o entre balística y activa (ADMa) (Moras, 2003).

$$\begin{aligned} \text{ADMp} &\propto \text{grados} \\ \text{ADMa} &\propto \text{grados} \end{aligned}$$

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

$$\begin{aligned} & \text{ADMb } \beta \text{ grados} \\ \text{ADMR}_1 &= \text{ADMp} - \text{ADMa} = \gamma - \alpha \text{ grados} \\ \text{ADMR}_2 &= \text{ADMp} - \text{ADMb} = \gamma - \beta \text{ grados} \\ \text{ADMR}_3 &= \text{ADMb} - \text{ADMa} = \beta - \alpha \text{ grados} \end{aligned}$$

Disponer de una **ADMR₁** elevada supone una limitada fuerza de los músculos antagonistas, aunque hay que diferenciar dos casos: tener una **ADMR₁** grande con un valor de movilidad activa pequeño, lo que significa una falta de adecuación de la ADM activa, o tener una **ADMR₁** elevada con una movilización activa normal pero con un desarrollo desmesurado de la ADM pasiva (Tumanyan y Dzhanyan, 1984).

La **ADMR₂** determina el margen de movilidad articular de que disponemos en la articulación después de realizar un movimiento balístico. Esta valoración es difícil de realizar por la dificultad de cuantificación de los ejercicios balísticos (Moras, 2003).

La **ADMR₃** nos informa sobre la capacidad del sujeto para utilizar la aceleración de los segmentos corporales con el fin de alcanzar niveles mayores de movilidad articular en relación con la movilización activa.

Conforme a este análisis, debemos ser capaces de establecer un programa de estiramientos adecuado a cada modalidad deportiva, considerando que para cada articulación el deportista tenga una **ADM residual óptima** en relación con las necesidades de movilidad que requiere cada acción motriz.

Tipos de estiramientos en función de la manifestación de movilidad en las distintas modalidades deportivas

Otro enfoque interesante es valorar las articulaciones a partir de un análisis cuantitativo y cualitativo de las **necesidades de ADM articular del deportista** en las principales articulaciones del cuerpo. Esta tarea, previa a la programación del entrenamiento, suele ser una gran ayuda para los entrenadores, preparadores físicos y fisioterapeutas a la hora de escoger los sistemas o técnicas de estiramiento. En general, podemos clasificar las articulaciones en cuatro categorías.

- En la primera categoría se aúnan todas las articulaciones o regiones corporales a las cuales la técnica deportiva exige **gran aceleración y relativamente poca amplitud** del movimiento. Éste es el caso del tren

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

inferior y el anillo pélvico de la mayoría de los movimientos realizados por los jugadores en los deportes de equipo: entrada a canasta y mate en baloncesto, batida de remate en voleibol, cambio de ritmo en fútbol, etc.

En este caso se aconseja fundamentalmente potenciar la elasticidad dentro del arco de movimiento técnico (Sigerseth, 1971; citado por Alter, 1990).

- En segundo lugar, se encuentran las articulaciones a las que se exige una **gran amplitud del movimiento pero poca velocidad** segmentaria. Son de destacar las acciones técnicas de lanzamiento y golpeo suave en balonmano y voleibol o los movimientos de la articulación escapulohumeral de los nadadores. Aquí es importante desarrollar o mantener unos niveles adecuados de flexibilidad que eviten excesiva rigidez articular.
- En un tercer grupo agrupamos las técnicas deportivas que exigen **gran movilidad articular y elevada aceleración**. Éste es el caso de la articulación coxofemoral en los porteros de balonmano en la mayoría de las acciones, de los jugadores de balonmano en el lanzamiento potente o del golpeo potente en los jugadores de voleibol, etc. Se recomienda entrenar la elasticidad en un segmento o arco del movimiento grande. Evidentemente, la dificultad radicarán en conseguir la convivencia de dos manifestaciones de la ADM *a priori* antagónicas, como son la flexibilidad y la elasticidad.
- Finalmente, en el cuarto grupo englobamos los **grupos musculares que prácticamente siempre necesitan un desarrollo preventivo de la flexibilidad** por su tendencia a una pérdida progresiva de ADM. Normalmente, este tipo de articulaciones son un peligroso freno para el rendimiento y la salud en general, al mismo tiempo que pueden ser el origen de diversas lesiones. Éste es el caso de los isquiotibiales, el psoasílico y los músculos aductores, entre otros. En general, se pueden minimizar los riesgos mediante un trabajo constante de estiramiento de esta musculatura que disminuya su rigidez.
- De acuerdo con este análisis, establecemos los tipos de estiramientos más adecuados en función de las distintas modalidades deportivas.

Esfuerzos continuos. Se caracterizan por movimientos determinados que se repiten de forma cíclica y que para la mayoría de las modalidades deportivas (carreras en atletismo, ciclismo, patinaje, esquí de fondo, remo, etc.) no requieren una ADM elevada. La ADM natural de las principales articulaciones solicitadas en estos deportes es muy superior a la ADM que

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

requiere la acción motriz, por lo que el deportista, para las exigencias que requiere, tiene una ADM residual suficiente. Así pues, estas modalidades deportivas no precisan un trabajo específico de desarrollo de la movilidad articular. Es suficiente, por tanto, con un trabajo preventivo de flexibilidad para los grupos musculares más acortados mediante estiramientos estáticos activos sin excesiva ADM. Sin embargo, en algunos esfuerzos continuos, por ejemplo en natación, se requiere una ADM elevada a una velocidad de ejecución moderada para la articulación del hombro. En este caso es necesario un elevado desarrollo de movilidad dinámica sobre una base previa de estiramientos estáticos con gran ADM.

Deportes acíclicos. Se caracterizan por movimientos determinados que requieren habitualmente la ejecución de acciones a máxima velocidad exigiendo una ADM elevada en determinadas articulaciones. Éste sería el caso, por ejemplo, de modalidades deportivas como salto de longitud, salto de altura, salto de pértiga, lanzamiento de jabalina, halterofilia, etc. Para estas modalidades deportivas, se requiere en determinadas articulaciones un desarrollo máximo de la ADM estática mediante estiramientos estáticos activos, pasivos forzados y FNP. Posteriormente hay que transferir las ganancias de ADM estática a la manifestación de movilidad dinámica mediante estiramientos dinámicos ejecutados finalmente en las condiciones de velocidad y motricidad que requiere la competición.

Deportes de equipo y de raqueta. Se caracterizan por movimientos indeterminados y situacionales ejecutados a velocidad moderada y máxima que no necesitan una ADM elevada, aunque determinadas acciones pueden exigir ADM próximas a la máxima en algunas articulaciones. Éste sería el caso, por ejemplo, de modalidades deportivas como fútbol, baloncesto, balonmano, voleibol, hockey, tenis, bádminton, etc. Como norma general, se aconseja para estas modalidades deportivas el desarrollo de la movilidad dinámica potenciando la elasticidad mediante la propia ejecución de acciones motrices similares a las de competición. Además, se requiere un trabajo de base para mantener una óptima ADM residual mediante la ejecución de ejercicios estáticos activos sin excesiva exigencia de ADM. De forma específica, en la mayoría de estos deportes puede haber situaciones con elevada exigencia de ADM en los músculos isquiotibiales y abductores. Además, estas acciones suelen ejecutarse a elevada velocidad, con inercia de movimiento y con escaso control de la postura corporal. En estas

circunstancias puede existir un riesgo elevado de lesión al superar la ADM dinámica la ADM natural que tiene el deportista. Por ello, se recomienda el desarrollo máximo de la ADM estática para estos grupos musculares mediante estiramientos estáticos activos, pasivos forzados y FNP. Además, en algunos de estos deportes y/o en determinadas posiciones se ejecutan acciones a máxima velocidad que exigen gran ADM. Así ocurre en algunos lanzamientos y golpes en balonmano y voleibol o con los porteros de fútbol y especialmente de balonmano. De forma análoga a lo establecido para los deportes acíclicos, se requiere para estas acciones un trabajo combinado de ejercicios balísticos ejecutados a velocidad elevada simulando la acción motriz de competición y de ejercicios de desarrollo de la flexibilidad mediante estiramientos estáticos activos, pasivos forzados y FNP.

Deportes de combate. Se caracterizan por movimientos indeterminados y situacionales ejecutados a elevada velocidad y con gran exigencia de ADM. Este sería el caso de algunas de las acciones ejecutadas en deportes como judo y taekwondo. Se precisa, pues, nuevamente un desarrollo combinado de elasticidad (ejercicios balísticos) y flexibilidad (estiramientos estáticos activos, pasivos, forzados y FNP).

Deportes compositivos. Se caracterizan por movimientos determinados previamente que requieren manifestar en competición unas ADM dinámica y estática máximas en numerosas articulaciones. Entre estas modalidades deportivas podemos considerar la gimnasia rítmica, la gimnasia deportiva, la natación sincronizada y el patinaje artístico. Los deportistas de estas modalidades requieren optimizar el rendimiento mediante el desarrollo máximo de las ADM estática y dinámica mediante la ejecución de todos los tipos de estiramiento descritos.

Las necesidades de desarrollo de movilidad articular descritas para las distintas modalidades deportivas son ajenas a tener que realizar **estiramientos en otras situaciones exigidas en el proceso del entrenamiento**: en el calentamiento, antes y después de repeticiones de acciones motrices ejecutadas a elevada intensidad, antes y después de cada serie en un entrenamiento con sobrecargas, etc. En estos casos se requiere fundamentalmente la ejecución de estiramientos estáticos activos y estiramientos dinámicos sin elevada exigencia de ADM y con una menor duración del tiempo de estiramiento. Los objetivos de estos estiramientos son fundamentalmente la prevención de lesiones (véase el apartado 2 del capítulo

9), estirar el músculo contraído después de un movimiento de elevada exigencia y estirar los músculos antagonistas de forma previa a la ejecución de una acción de intensidad elevada para evitar que su rigidez interfiera en la economía del movimiento.

Síntesis

- Para desarrollar la movilidad articular se utilizan básicamente dos tipos de estiramientos: el estiramiento estático que define la amplitud del movimiento alcanzada en una o varias articulaciones mediante un recorrido lento hasta alcanzar la posición final de estiramiento que habitualmente se mantiene un cierto tiempo, y el estiramiento dinámico que define la amplitud del movimiento solicitada durante la realización de un movimiento a velocidad media o acelerada.
- Los estiramientos estáticos y dinámicos pueden realizarse con la ayuda de la gravedad (pasivos relajados), con la ayuda de una fuerza externa (pasivos forzados) o mediante la contracción de los músculos que producen el movimiento (activos).
- Los estiramientos activos pueden realizarse con la fuerza de contracción de los músculos antagonistas (libres), añadiendo la ayuda de una fuerza externa (asistidos) y contra una fuerza que se opone al movimiento (resistidos).
- Los estiramientos en tensión pasiva son los que proporcionan mayores ganancias de amplitud del movimiento articular. Son especialmente aconsejables para los músculos biarticulares debido a su tendencia a aumentar la rigidez que frena una correcta ejecución motriz, y para compensar desequilibrios bilaterales de la amplitud del movimiento. Para utilizarlos se deben considerar las necesidades de movilidad articular de cada modalidad deportiva. El tiempo óptimo de estiramiento es 12-18 seg.
- Los estiramientos activos son fundamentales en el desarrollo de la amplitud del movimiento articular con el objetivo de que los tejidos sean capaces de resistir la tensión de la fase excéntrica, especialmente en movimientos con elevadas aceleraciones. Para ello son necesarios estiramientos estáticos en tensión activa manteniendo la contracción muscular antes y durante el estiramiento, y estiramientos dinámicos

lentos en tensión activa con el objetivo de preparar la vigilancia de la unidad musculotendinosa en todo el arco del movimiento.

- En los estiramientos activos se puede utilizar la palpación sistemática con el objetivo de valorar y detectar cambios de la tensión, eliminar tensión en músculos que no deben ser solicitados y focalizar la atención del ejecutante sobre la zona de trabajo.
- Los estiramientos dinámicos balísticos son habitualmente de poca amplitud, requiriendo grandes aceleraciones, y además de constituir un método efectivo de incrementar la movilidad articular son inherentes al propio contexto de competición de la mayoría de las modalidades deportivas.
- La facilitación neuromuscular propioceptiva es una técnica mixta que utiliza diferentes variantes basadas en la alternancia de contracciones musculares y estiramientos que posibilita un desarrollo de la movilidad articular superior a otros métodos. Por ello, su utilización es adecuada para las modalidades deportivas limitadas en su rendimiento por la amplitud articular. Se recomienda una duración de 5-7 seg para las contracciones isométricas.
- Es posible incrementar en mayor medida la amplitud del movimiento, si así se precisa, utilizando vibraciones mecánicas en los estiramientos activos y pasivos ejecutados con diferente amplitud del movimiento.
- La aplicación de estimulación eléctrica en un músculo estirado o a estirar permite fortalecer los músculos y la respuesta de los tendones a la tracción, pudiendo ser especialmente útil en situaciones de debilidad muscular, descompensaciones musculares, acortamientos musculares, tendinosis crónicas y fases de readaptación al esfuerzo después de lesiones musculares.
- En una acción dinámica sólo puede manifestarse un determinado porcentaje de la amplitud del movimiento estática. Por ello, su desarrollo debe trabajarse con el desarrollo previo de esta amplitud. Las acciones motrices que requieren la manifestación de una elevada amplitud del movimiento estática deben desarrollarse mediante estiramientos estáticos que incidan en una amplitud mayor que en competición.
- Como norma general, se recomienda para la correcta ejecución técnica y para evitar lesiones desarrollar una amplitud del movimiento residual que supere significativamente las necesidades de amplitud de la modalidad deportiva.

- Considerando la amplitud del movimiento residual, los tipos de estiramiento utilizados y la amplitud del movimiento solicitada deben adaptarse a las necesidades de cada modalidad deportiva. En la mayoría de los esfuerzos continuos no hace falta un trabajo específico para desarrollar la movilidad articular; en los deportes acíclicos y en los esfuerzos intermitentes es necesario desarrollar la movilidad articular en determinadas articulaciones, y en los deportes compositivos es necesario desarrollar la movilidad articular en la mayor parte de las articulaciones.
- En la mayoría de las modalidades deportivas se requiere ejecutar estiramientos sin elevada exigencia de amplitud y tiempo de estiramiento para otros objetivos no asociados al desarrollo de la movilidad articular, como en el calentamiento y en la ejecución de repeticiones a elevada intensidad.

Cuestionario de asimilación

1. Explica las diferencias entre un estiramiento estático y uno dinámico.
2. Define las diferencias entre un estiramiento pasivo y uno activo.
3. Indica ejemplos de modalidades deportivas en las que sea importante desarrollar la amplitud del movimiento articular con estiramientos en tensión pasiva.
4. Explica qué entendemos por vigilancia muscular y con qué tipo de estiramientos se desarrolla.
5. Indica en qué tipo de estiramientos se pueden aplicar simultáneamente vibraciones mecánicas.
6. Define en qué situaciones es especialmente recomendable la ejecución simultánea de estiramientos y electroestimulación.
7. Señala las principales características y aplicabilidad de los estiramientos dinámicos balísticos.
8. Indica en qué consisten las técnicas de estiramientos basadas en la facilitación neuromuscular propioceptiva.
9. Define los componentes del entrenamiento y la secuencia de ejecución de un estiramiento HR, CR, CRAC y CRA.

- 10.** Indica cuál es el objetivo de realizar estiramientos con palpación sistemática.
- 11.** Señala el tiempo de estiramiento óptimo de los estiramientos pasivos.
- 12.** Establece la relación que existe entre el grado de movilidad activa y pasiva con el rendimiento deportivo.
- 13.** Define y justifica el concepto de amplitud del movimiento residual.
- 14.** Indica las manifestaciones de la movilidad articular más habituales en las modalidades deportivas.
- 15.** Explica por qué es necesario un desarrollo de la movilidad estática en modalidades deportivas que requieren un elevado nivel de exigencia de movilidad dinámica.
- 16.** Establece las principales diferencias en el entrenamiento para el desarrollo de la movilidad articular entre las modalidades deportivas caracterizadas por esfuerzos continuos y esfuerzos intermitentes.
- 17.** Indica qué otras aplicaciones, además del desarrollo de la movilidad articular, tienen los estiramientos en el proceso de entrenamiento.

4

Evaluación y control de la movilidad articular

Gerard Moras Feliu

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender las dificultades de evaluar la movilidad articular.
- Conocer los tests utilizados para evaluar directa e indirectamente el grado de movilidad articular, sus ventajas y limitaciones.
- Comprender algunas estrategias que permiten incrementar la validez de los tests indirectos que evalúan la movilidad articular.
- Reflexionar sobre los tests más adecuados para evaluar la movilidad articular en las distintas modalidades deportivas e interpretar sus resultados para reorientar el entrenamiento.

Índice

- 4.1. Análisis y clasificación de los principales tests de evaluación de la movilidad articular
- 4.2. Instrumentos de medición directa de la movilidad articular
 - Goniómetro
 - Flexómetro Leighton
 - Electrogoniómetro
 - Higrómetro
 - Fotografía estática, cinematografía y radiografía
 - Inclinómetro
 - Estimación visual
 - Instrumento de medida del arco del movimiento cervical
 - Seguimiento del contorno
- 4.3. Métodos indirectos de medición de la movilidad articular
 - Coeficientes de fiabilidad y objetividad
 - Análisis teórico de los índices de flexibilidad articular
 - Tests de flexibilidad multiarticular
- 4.4. Evaluación de la amplitud de la movilidad articular mediante el test flexométrico

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

El compás flexométrico. Bases teóricas del método corrector. Tests con un centro de rotación

El índice flexométrico

Estimación de la amplitud del movimiento articular mediante el índice flexométrico

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Como en todos los objetivos del entrenamiento, para la movilidad articular se requieren pruebas que permitan controlar y evaluar los efectos del entrenamiento. La evaluación de la movilidad articular es mucho más compleja que la de otros objetivos de entrenamiento y quizá por esto su estudio está ausente o carece de análisis en numerosos tratados de entrenamiento deportivo. En este apartado el lector encontrará una descripción de los tests que permiten una evaluación directa o indirecta de la movilidad articular, resaltando su validez, limitaciones y aplicaciones, y estableciendo directrices que permitan incrementar la validez de los tests indirectos.

4.1. Análisis y clasificación de los principales tests de evaluación de la movilidad articular

Los **sistemas de medición de la ADM** son en general demasiado simples y a la vez de una **validez cuestionable**. Además, muchos de los tests son multiarticulares y complejos, lo cual no tiene mucha lógica si consideramos que la flexibilidad no existe como característica general del cuerpo humano debido a que es específica de cada articulación y de la acción de la articulación (Munroe y Romace, 1975; Harris, 1969; Leighton, 1957; Hupprich y Sigersteth, 1950). Esta consideración supone una gran dificultad para controlar y evaluar la ADM del cuerpo humano por la gran cantidad de articulaciones y de movimientos que podemos realizar alrededor de ellas. Todos estos factores deben tenerse en cuenta en el momento de escoger un sistema de medición, el cual debe atender a las **necesidades específicas de cada deporte**.

La ADM y sus manifestaciones flexibles y elásticas interesan a numerosos profesionales y todos ellos están de acuerdo en su importancia para el rendimiento deportivo. Todo ello hace pensar que fácilmente encontraremos muchos tests de control y evaluación de la ADM válidos y fiables. Pero la realidad es que existe una gran confusión terminológica y un déficit de clasificaciones estructuradas, y muchas pruebas o tests no han sido aceptados de una manera clara. Esto hace que el camino a seguir sea inevitablemente el

de encontrar un criterio científico más riguroso e intentar avanzar hacia la validación de los procedimientos renovados de medición de la flexibilidad (Greipp, 1985; Ekstrand *et al.*, 1982; Ekstrand y Guillquist, 1982; Moretz *et al.*, 1982).

Medir la ADM activa, pasiva, pasiva forzada o balística de una articulación no es fácil. Por ello se desarrollaron diversos instrumentos que permiten adaptarse a las diferentes longitudes de las extremidades, así como a la gran complejidad de los movimientos que se puede realizar cuando interviene más de una articulación (Jackson y Baker, 1986; Hutinger, 1974).

Los **tests de movilidad articular** tienen unas **limitaciones** que son propias de cualquier test de la condición. El resultado de un test es siempre un diagnóstico aproximado de una capacidad compleja como es la ADM. El diagnóstico afinado es patrimonio de las investigaciones bioquímicas, biomecánicas y medicodeportivas, por lo que los resultados de un test de ADM deberían completarse siempre con los conocimientos y evidencias científicas de que se dispone en ese momento. Por otro lado, los requerimientos de una prueba son el resultado de la expresión de la personalidad de un individuo. A pesar de que se sigan escrupulosamente las instrucciones de las pruebas, siempre habrá factores que distorsionarán y modificarán el resultado. No es lo mismo que el test se realice por primera, segunda o tercera vez. Los acontecimientos, la situación anímica y las condiciones ambientales no serán exactamente las mismas. También influye notablemente la manera de explicar la prueba, la experiencia de la persona que pasa el test y los errores derivados de la naturaleza de los instrumentos de medición y el material de la prueba (Willmiczik, 1977).

Los tests evalúan la ADM y en general su flexibilidad activa o pasiva, ya que normalmente se moviliza la articulación lentamente hasta alcanzar su límite articular. Sólo unos pocos tests dinámicos, realizados a alta velocidad, permiten valorar el comportamiento elástico.

La mayoría de los tests son individuales y elementales o sencillos porque estudian unas condiciones controladas, sabiendo que el rendimiento de la prueba está determinado por unos pocos factores conocidos. Éste es el caso de todos los **tests monoarticulares** que aíslan una articulación, siendo los movimientos muy estandarizados.

Otros tests son individuales y complejos porque están regidos por un número relativamente alto de factores individuales, de los cuales normalmente no tenemos información contrastada. Los **tests**

multiarticulares son un claro ejemplo. En el estudio de los tests de evaluación de la ADM es necesario separar claramente los tests elementales de los complejos con el fin de analizarlos posteriormente con más criterio.

Para el estudio de los tests de valoración de la ADM se describirá en este apartado, y para cada movimiento estudiado, el tipo de articulación, además de diferenciar los movimientos realizados en torno a un único centro de rotación de los movimientos realizados a caballo de dos centros de rotación, y éstos, a su vez, de los movimientos en los que intervengan múltiples centros de rotación (columna vertebral).

Se analizará si en el movimiento interviene un único segmento corporal o más de uno y el plano de movimiento en el que se realiza el test. Concretamente, se diferenciarán los tests realizados en un único plano de los que se realicen en dos planos al mismo tiempo. Asimismo, es importante diferenciar el tipo de acción. La acción puede ser única como la flexo-extensión, o combinada, como ocurre en la flexo-extensión con rotación (Harris, 1967).

Otros criterios utilizados son la diferenciación entre las mediciones directas e indirectas y la valoración del tipo de acción, diferenciándose entre los tests estáticos, dinámicos lentos y cinéticos o balísticos. Esta valoración permite delimitar las variables que definen cualquier test de estimación de la movilidad articular.

Los tests descritos en la bibliografía especializada aportan la información necesaria para realizar el test, pero con demasiada frecuencia ésta es insuficiente, lo que supone un grave problema para la estandarización de la prueba.

En la tabla 5.1 se enumeran los **tests más utilizados para la medición indirecta de la flexibilidad** en función de la extremidad medida y diferenciando los tests individuales elementales de los complejos. En la tabla 5.2 se enumeran los principales instrumentos utilizados para una valoración directa de la movilidad articular.

4.2. Instrumentos de medición directa de la movilidad articular

Las **medidas de desplazamiento angular** de una articulación a menudo son utilizadas para medir su flexibilidad estática. Si los puntos de referencia

miden los desplazamientos angulares entre segmentos adyacentes, se considera un ángulo relativo, y si es a partir de una referencia externa, un ángulo absoluto. En ambos casos el resultado se expresa en grados. Sin embargo, este desplazamiento no puede considerarse una medición directa de la longitud muscular o del cambio de longitud, aunque hay una gran relación entre las dos variables y se considera un parámetro importante para calcular la flexibilidad estática de una manera no invasiva (MacDougall *et al.*, 1991). Según la ley de la longitud muscular de Borelli y Weber Fick, al ser la longitud de las fibras musculares proporcional al acortamiento que se produce durante la contracción, la amplitud del movimiento condiciona la longitud del vientre muscular (Tribastone, 1991).

Para minimizar la confusión en la interpretación de las medidas obtenidas, hay que especificar con claridad los **puntos de referencia**. Así, por ejemplo, para estandarizar las técnicas goniométricas se utilizan las pautas de la “American Academy of Orthopaedic Surgeons” (1965) que utilizan el método neutro cero (“Neutral Zero Method”). La ADM se mide a partir de una posición de referencia para cada articulación, definida como posición cero (*zero starting position*) (figura 5.17).

En términos generales, la **medición directa de la movilidad articular** se recomienda porque el resultado de la medición no está afectado por las proporciones de los segmentos corporales, a pesar de que existen grandes diferencias entre todos ellos.

Goniómetro

La estimación de la ADM articular a través de **goniómetros**, considerada por Miller (1985) un método de laboratorio, se puede realizar de forma manual, eléctrica o con goniómetros de gravedad, y se considera el método más factible de valoración clínica de la movilidad articular (Clarke, 1976; Baldwin y Cunningham, 1974).

El goniómetro utilizado para medir la ADM articular en grados en articulaciones con un solo centro de rotación se ha criticado a menudo cuestionando su fiabilidad (Speakman y Kung, 1978). Uno de los principales problemas en el momento de la evaluación es identificar el eje del movimiento en acciones complejas, como la flexión y extensión de muñeca en la que interviene más de una articulación (Moore, 1978). Es complicado también posicionar los brazos del goniómetro a lo largo de los huesos de los

segmentos corporales, sobre todo si éstos no son largos o no están bien definidos (Harris, 1969), y es difícil pasar el test cuando el movimiento no se realiza en un solo plano. Además, el test solamente permite medir posiciones estáticas. No obstante, a pesar de todo podemos encontrar en muchos estudios valores de fiabilidad alta (Reese y Bandy, 2002; Norkin y White, 1995). Finalmente, hay que destacar que la aplicación goniométrica, a diferencia de otras técnicas, es bastante dificultosa.

TABLA 5.1. Tests de flexibilidad indirectos. Unidad de medida lineal

Tests individuales elementales

Extremidades inferiores y anillo pélvico

Espagat frontal	Johnson (1978)
Espagat lateral	Johnson y Nelson (1986)
Extensión de tobillo	
Test de la mariposa	Tomita (1989)
Test de flexión de caderas	
Test de flexión de rodilla	
Test de separación de piernas sentado	Hagerman (1989)
Tumbado supino, elevación de la pierna	Manual of Orthopaedic Surgery (1985)
De pie, elevación de la pierna	Moras (1992)
Estirado de lado, separación de piernas	
Separación de piernas apoyado en una pared	
Test de Thomas	Kendall y Creary (1983)

Extremidades superiores

Elevación de hombro y muñecas con pica	Johnson y Nelson (1986)
Flexibilidad de hombro, abducción horizontal	Jensen y Hirst (1980)
Test de rascarse la espalda	Scott y French (1959)
Pasar la mano por encima del hombro contrario	
Cogerse las manos por la espalda	
Flexibilidad de hombros en plano inclinado	Greip (1982)
Giro de hombros con bastón	Hoeger (1986)
Test de crol de espalda	Moras (1992)
Abducción horizontal de brazos delante de una pared	

Columna vertebral

Extensión de espalda y cuello	Johnson y Nelson (1986)
Extensión de espalda	Imrie y Barbuto (1988), McKenzie's (1981)
Test canadiense	
Inclinación lateral del tronco	Norris (1996)
Test de Schober modificado	Schober (1937), Macrea y Wright (1969), Van Adrichem (1973)

Tests multiarticulares. Tests indirectos individuales complejos

Flexión de tronco hacia delante	Jensen y Hirst (1980)
<i>Sit and reach</i>	Wells y Dillon (1952)
<i>Sit and reach</i> modificado	Johnson y Nelson (1986)
El puente	
Test dinámico de Fleischman	Fleischman (1964)
Flexión de tronco sobre un banco	Wells y Dillon (1952), Scott y French (1959)
De pie, tocar el suelo	Cureton (1941)
<i>Tot flex</i>	Porta (1968)
Test de salto de valla	Grosser (1976)
Test de tocar el suelo durante 3 seg	Kraus-Weber (1954)

Adaptado de Kirby. Kirby's guide to fitness and motor performance. Benaak Publishing Company, 1991.

TABLA 5.2. Clasificación de los instrumentos de medición directa de la movilidad articular.
Unidad de medida en grados

Electrogoniómetro (ELGON)	Karpovich y Karpovich (1959)
Flexómetro Leighton	Leighton (1966)
Goniómetro	Moore (1978)
Radiografía	
Fotografía estática	
Cinematografía	
Goniómetro de gravedad	Ekstrand y Gillquist (1982)
Goniómetro con burbuja de gravedad	
Inclinómetro. Test de flexión lumbar	M.I.E. Medical Research
Instrumentos de medida del arco del movimiento cervical	
Goniómetro Rippstein	
Seguimiento de contornos	

Original del autor.

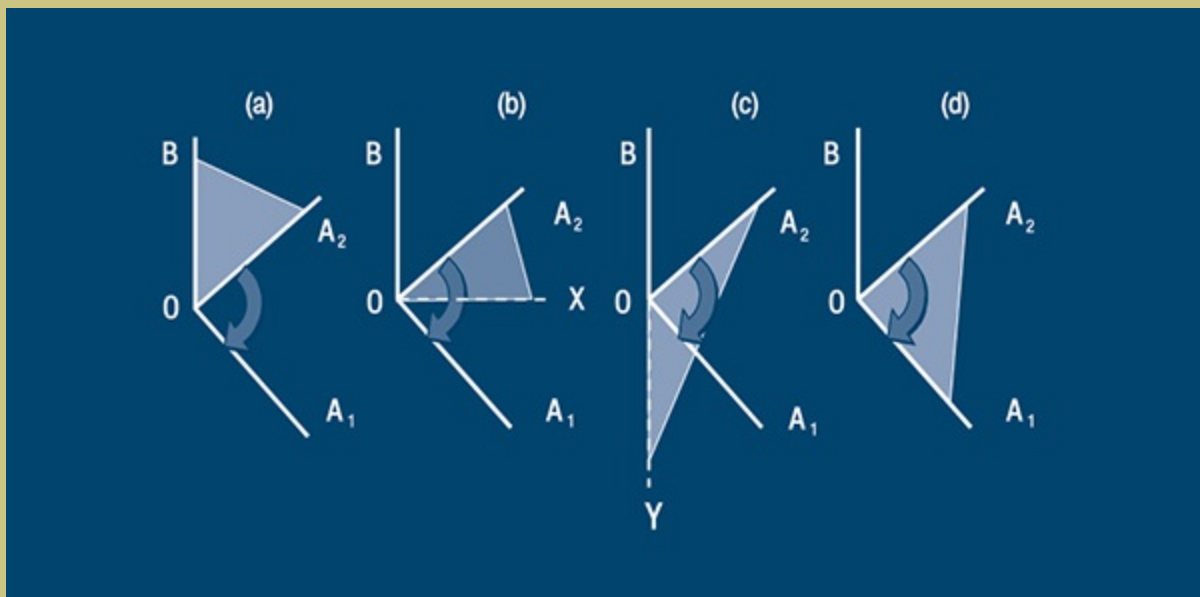


FIGURA 5.17. Posibles interpretaciones de la ADM. (a): ángulo real BOA_1 -50°; (b): ángulo complementario A_2OX ; (c): ángulo suplementario A_2OY ; (d): ADM A_2OA_1 . La representación del movimiento del segmento desde la posición A_1 a la posición A_2 puede medirse de diferentes formas.

Adaptado de Clayson SJ et al. Arch Phys Med Rehabil 1966;47:255-61.

El goniómetro transportador fue introducido en 1915 por Camus y Amar (Fox 1917). Es un dispositivo simple pero útil, que consta de dos brazos articulados, uno de los cuales contiene un transportador hecho de plexiglás o

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

metal, construido alrededor del punto de apoyo del aparato, en torno al cual gira el segundo brazo (figura 5.18). El brazo con el transportador se denomina el brazo fijo, y el segundo grupo se conoce como el brazo móvil.

El goniómetro de Labrique (1977) es un goniómetro péndulo con una aguja construida dentro del transportador que mantiene una dirección vertical bajo la influencia de la gravedad. Esta aguja permite una evaluación rápida de la amplitud del movimiento de una articulación en relación con la vertical.



FIGURA 5.18. Goniómetro transportador.

Original del autor.

El goniómetro VUB (Van Roy *et al.*, 1985) difiere del goniómetro transportador tradicional en que la escala graduada, fulcro del goniómetro y el brazo móvil se montan en un carro que se desliza a lo largo del brazo fijo del goniómetro (figura 5.19). Esta construcción permite una fácil orientación de los 55 cm transparentes del brazo largo del goniómetro a lo largo de los ejes longitudinales de los segmentos del cuerpo. La amplitud articular se puede medir sin centrar el eje del goniómetro sobre el eje de la articulación. En un estudio anterior los autores indicaron que tener en cuenta los ejes fijos comunes como puntos de referencia introduce errores sistemáticos en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

goniometría. El goniómetro VUB también se ha construido con un segundo eje de referencia situado en el brazo fijo.

En las articulaciones con largos segmentos, como la articulación coxofemoral y la escapulohumeral, un goniómetro de brazos largos será más fiable que uno de brazos pequeños (figura 5.20). En la figura 5.21 se muestra una aplicación goniométrica que requiere la utilización de brazos largos. Los goniómetros de brazos cortos son útiles para medir articulaciones con segmentos cortos (figura 5.22). De hecho, en el mercado podemos encontrar goniómetros profesionales de diferentes tipos: goniómetros de bolsillo tipo Robinson de 180°, goniómetros de 360°, de dedo, en X de 8", de pequeñas intersecciones, de flexoextensión, de hiperextensión; y los modelos pueden ser de dos brazos o con un índice de plomo sometido a la gravedad como el de Labrique (Génot *et al.*, 1988). Como ejemplo de goniómetros específicos mostramos la aplicación para medir la flexión de la articulación metacarpofalángica (figura 5.23). También se ha utilizado un goniómetro modificado que lleva un pequeño nivel incorporado en uno de los brazos. Este goniómetro permite colocar uno de los brazos alineado con el segmento corporal movilizado y el otro brazo alineado con la línea de fuerza de la gravedad utilizando el nivel incorporado. Esta herramienta permite un control más fino del brazo libre del goniómetro en tests como el de rotación interna (externa) de cadera desde la posición sentada.

Sea cual sea el goniómetro utilizado, se debe respetar ciertos principios comunes en su uso, como el de colocarlo en el plano del movimiento estudiado o en un plano paralelo.

Se ha demostrado que este aparato puede ser bastante fiable si lo utilizan personas experimentadas que sigan un protocolo estandarizado (Boone *et al.*, 1978). Moore (1978) establece coeficientes de fiabilidad entre 0,50 y 0,58 en la articulación de la muñeca y 0,85 y 0,99 en 13 movimientos de la extremidad superior. En lo que respecta a la objetividad, ésta es $\pm 1^\circ$ a 7° en función de la técnica y la articulación medida. Para Jackson y Baker (1986) y Jackson y Langford (1989), la medición de la ADM isquiotibial supera el 0,90 de fiabilidad.

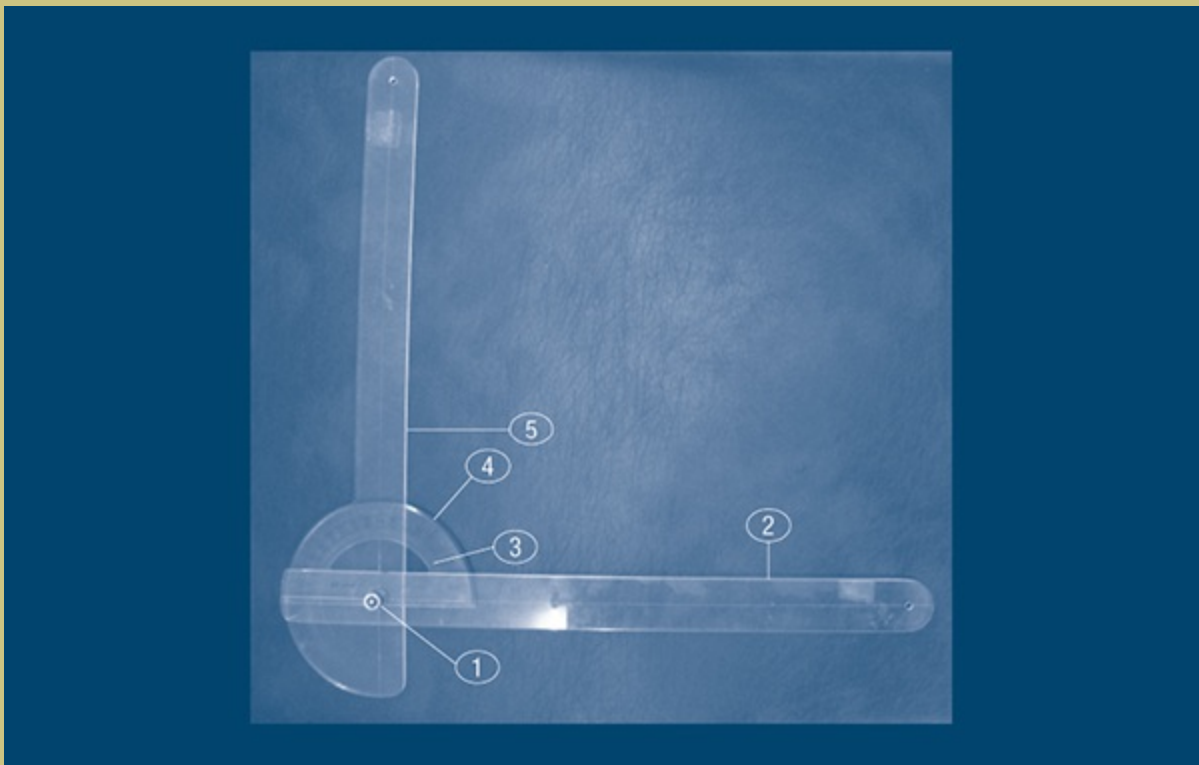


FIGURA 5.19. Goniómetro VUB. 1: fulcro; 2: brazo fijo; 3: transportador; 4: escala; 5: brazo móvil. Patente número 899964 (Bélgica).

Original del autor.



FIGURA 5.20. Goniómetro de brazo corto (a) y de brazo largo (b). Obsérvese primero la importancia de identificar los puntos anatómicos de referencia para incrementar la validez de la medición. El error en la medida puede ser mayor si los brazos del goniómetro no alcanzan los puntos de referencia.

Original del autor con permiso del deportista.

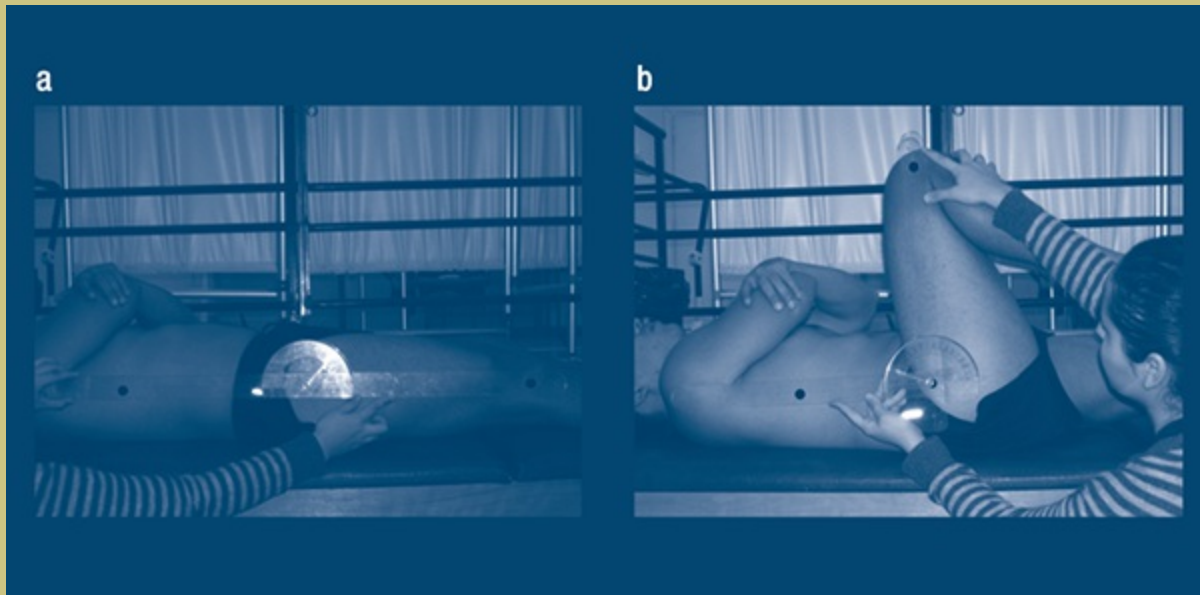


FIGURA 5.21. Medición de la ADM de la flexión de cadera con un goniómetro de brazo largo: (a) posición inicial, y (b) posición final. Obsérvese en la posición inicial la alineación del brazo fijo con los puntos anatómicos de referencia. Obsérvese en la posición final la posición mantenida del brazo fijo y la alineación del brazo móvil con los puntos de referencia.

Original del autor con permiso del deportista.

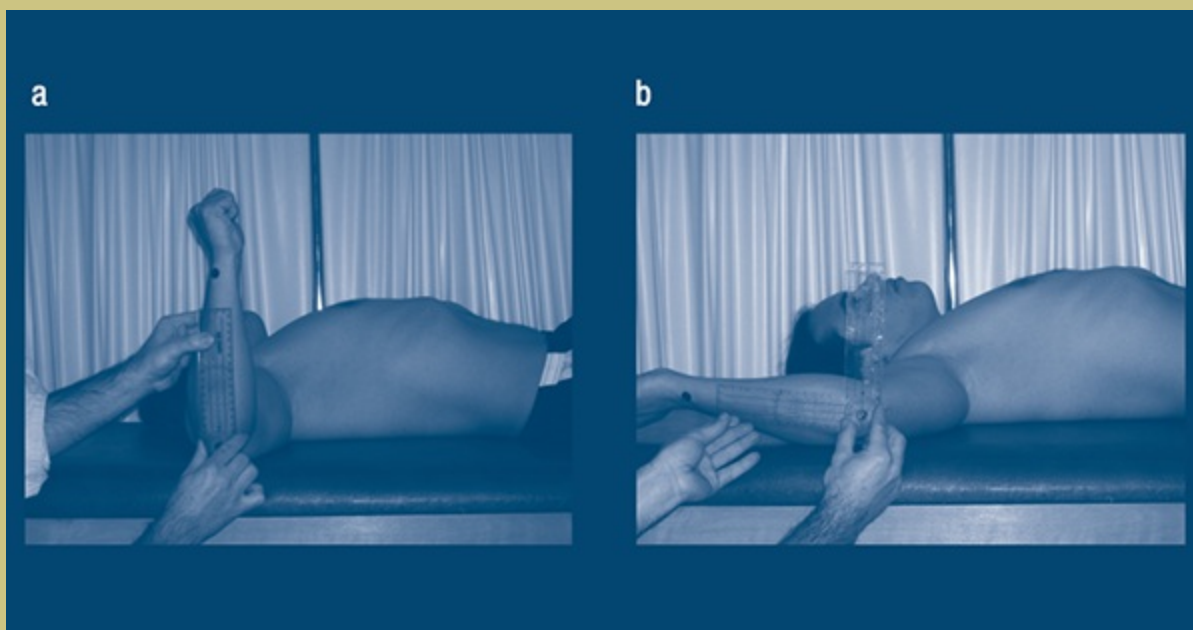


FIGURA 5.22. Medición de la ADM de la rotación lateral del hombro con un goniómetro de brazo corto: (a) posición inicial, y (b) posición final. Obsérvese en la posición inicial la alineación del brazo fijo con los puntos anatómicos de referencia. Obsérvese en la posición final la posición mantenida del brazo fijo y la alineación del brazo móvil con los puntos de referencia.

Original del autor con permiso del deportista.

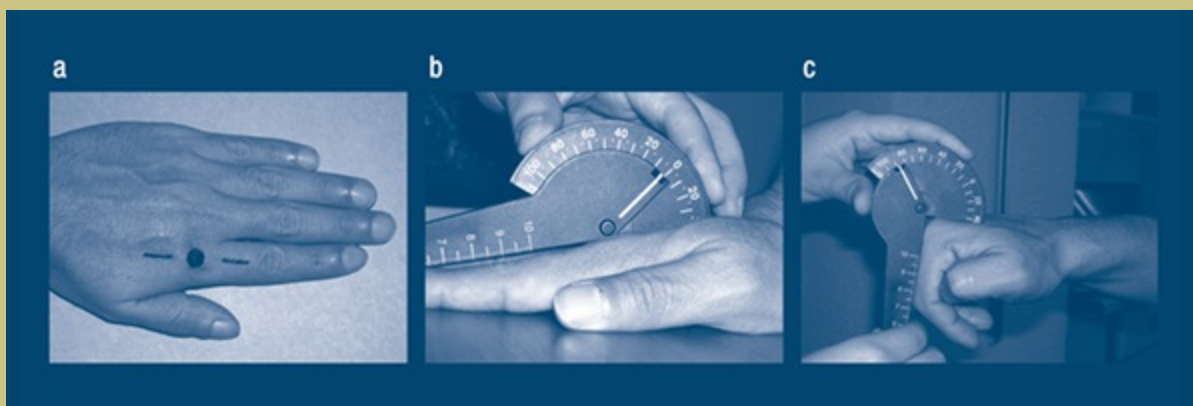


FIGURA 5.23 Medición de la ADM de la flexión de la articulación metacarpofalángica con goniómetro específico: (a) puntos de referencia; (b) posición inicial, y (c) posición final. Obsérvese primero la identificación de los puntos anatómicos de referencia para la posterior medición de la ADM mediante un goniómetro específico para esta articulación.

Original del autor con permiso del deportista.

El instrumento presenta una validez aceptada en diversos estudios que aportan gran cantidad de datos comparativos (Hastad y Lacy, 1989; Verducci, 1980). Es una herramienta relativamente barata que no necesita un aprendizaje excesivamente largo (Kirby, 1991). No obstante, para estandarizar las técnicas es necesario conocer el posicionamiento del goniómetro en los segmentos corporales, el movimiento de éstos y la posición y estabilización de los segmentos corporales adyacentes.

Normalmente se utilizan dos métodos para la valoración de la ADM articular: “SFTR Internacional” (Gerhardt y Russe, 1975) y el “American Academy of Orthopaedic Surgeons” (1965). Los dos procedimientos utilizan la posición anatómica básica como posición inicial neutra o cero, a partir de la cual se realiza la medida. Los procedimientos suelen estar bien explicados.

Algunos tests utilizan sólo una hoja de papel en la que se realizan unas marcas con un lápiz que después permiten calcular el ángulo mediante un transportador o un goniómetro. Como ejemplo podemos citar el test de flexibilidad de muñeca (Bender y Shea, 1964) o el de flexión de tobillo (Jensen y Hirst, 1980).

En resumen, la goniometría requiere en general un aceptable conocimiento de la anatomía y la antropometría. Cuando las referencias oseas son visibles, la utilización del goniómetro es sencilla y un buen método para medir la ADM articular. Sin embargo, como todos los tests de movilidad, el resultado final estará afectado por la edad, el sexo, la composición corporal, algunas patologías o lesiones, la actividad deportiva, la temperatura ambiental y el calentamiento previo (Hubley y Kozey, 1991).

Flexómetro Leighton

El **flexómetro Leighton** consta de un dial dividido en 360° y un indicador graduado, todo dentro de una caja que se puede ajustar a las extremidades mediante una cinta. El indicador y el dial funcionan libres e independientes, y la gravedad es la que controla el movimiento de cada uno de ellos (Leighton, 1993, 1966, 1957, 1956, 1955, 1942). Este flexómetro permite registrar cualquier movimiento siempre que esté situado a 20° o más respecto a la horizontal. El test se basa en 19 pruebas diferentes para determinar el movimiento de las 30 articulaciones principales del cuerpo humano. Es un aparato de fácil uso que no requiere localizar el centro del movimiento. Los

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

coeficientes de fiabilidad oscilan entre 0,90 y 0,98 en el test-retest al realizar 30 mediciones diferentes (Forbes, 1950; citado por Montoye, 1978). Otros autores también encuentran una fiabilidad alta (Munroe y Romance, 1975; Harris, 1969; Leighton, 1955; Hupprich y Sigerseth, 1950; Sigerseth y Heliski, 1950). Además, en general todos los autores coinciden en otorgarle una validez aceptable.

Electrogoniómetro

El **electrogoniómetro** consta de un potenciómetro que produce señales eléctricas que son directamente proporcionales al desplazamiento angular de la articulación, permitiendo medir el grado de movimiento dinámico y estático en dos o tres planos articulares. Su potenciómetro modifica de manera proporcional el voltaje en función del ángulo que presenta la articulación. Este sistema ha evolucionado desde la medición simple en dos dimensiones, pasando por la aplicación informatizada en tres ejes, hasta la construcción de sofisticados sistemas que permiten registrar unos 6° de libertad (Tesio *et al.*, 1995; Nicol, 1987). Es un test aún más restrictivo que los anteriores en lo que se refiere a la cantidad de movimiento a examinar y mucho más caro que el flexómetro Leighton.

El electrogoniómetro de Biometrics Ltd. permite medir la ADM articular de la muñeca (flexión-extensión), el antebrazo (pronación-supinación), el hombro (flexión-extensión), el tobillo (flexión-extensión e inversión-eversión), la rodilla (flexión-extensión), las caderas (flexión-extensión y abducción-aducción), la espalda y la cabeza (flexión-extensión, flexión lateral y rotación) y los dedos de las manos y de los pies (flexión-extensión). La precisión es ± 2 medida en un arco del movimiento de 90°. Mediante un completo programa informático, compatible con Pentium 133 Mhz o superior, podemos analizar los movimientos articulares que son objeto de estudio.

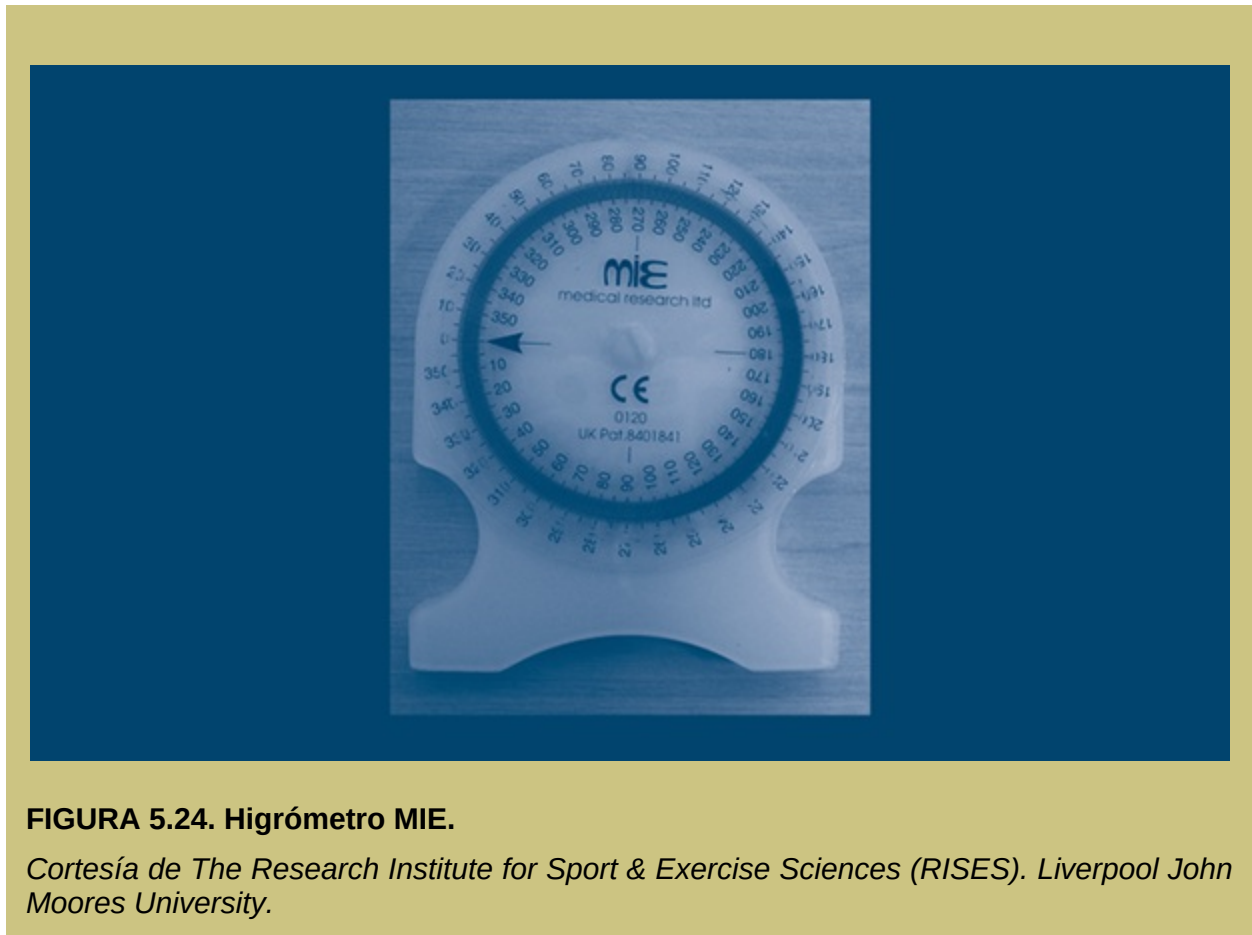


FIGURA 5.24. Higrómetro MIE.

Cortesía de The Research Institute for Sport & Exercise Sciences (RISES). Liverpool John Moores University.

Mucho más sencillo es el goniómetro digital CYBEX EDI 320, que permite medir movimientos articulares con un arco de 0° a 360° con una precisión de $\pm 1^\circ$. Funciona con baterías, y los más sofisticados permiten almacenar los datos obtenidos y transferirlos posteriormente a un ordenador. Sus posibilidades son más reducidas que el electrogoniómetro de Biometrics, pero se puede utilizar para medir el arco del movimiento de la columna.

Higrómetro

El **higrómetro** mide desplazamientos angulares utilizando el movimiento de una burbuja de aire en un líquido (nivel) en relación con una posición inicial de referencia (figura 5.24) (Borms y Van Roy, 2001; Schenker, 1956). El sistema permite utilizar como referencia la posición de una burbuja de aire siempre alineada con el eje vertical, o utilizando el principio de que un líquido (fluido) siempre se colocará en posición horizontal.

Fotografía estática, cinematografía y radiografía

La **fotografía estática**, la **cinematografía** y la **radiografía** utilizadas para valorar ADM estáticas ofrecen registros permanentes. Es necesario que el movimiento angular escogido se realice en el plano perpendicular al eje focal de la cámara cuando se utiliza fotografía o cinematografía. Muy a menudo, es difícil identificar los puntos de referencia anatómicos, especialmente en posiciones estáticas de las articulaciones pequeñas, acentuándose el problema cuando se han realizado rotaciones. A pesar de todo, si se utilizan adecuadamente, son técnicas valiosas muchas veces utilizadas como *gold standard* (Zankel, 1951; Wilson y Stasch, 1945). De todas ellas destacaremos el sistema fotográfico de evaluación de la postura que consta de una cámara con fijación de distancia y exposiciones de alta definición cuadrículadas. Por lo que respecta a la radiografía, algunos investigadores la consideran el medio más válido para medir la amplitud del movimiento (Morrow *et al.*, 1995; Resch *et al.*, 1995; Enwemeka, 1986; Wright y Johns, 1960; Kottke y Mundale, 1959). Aunque su utilización es bastante restringida por los problemas asociados a la exposición a la radiactividad y por su elevado coste, las técnicas radiológicas se han utilizado frecuentemente para validar las aplicaciones goniométricas.

Inclinómetro

El **inclinómetro** es un instrumento de medición de la ADM (Fox y van Breeman 1934) que puede utilizarse en vez del goniómetro en muchos movimientos, especialmente en el eje del esqueleto. Permite medir ángulos de cifosis y lordosis de la columna vertebral. Su dial indica el ángulo una vez colocados los extremos del compás entre las vértebras (por ejemplo, entre T1 y T12). El ángulo disminuye en inspiración y aumenta en espiración, lo que obliga a definir rigurosamente el protocolo del test (Salisbury y Porter, 1987).

La lordosis se mide entre T12 y L1, y resulta afectada por los ciclos respiratorios. Las dos mediciones han contrastado con radiografías de la columna (Ohlen *et al.*, 1989; Dangerfield *et al.*, 1987; Hellsing *et al.*, 1987).

Estimación visual

Miller (1985) establece como un método de laboratorio más la **estimación**

visual. Es un parámetro del todo subjetivo, pero que puede detectar rápidamente índices de movilidad extremos.

Los observadores experimentados obtienen información subjetiva, pero no pueden estimar ni recordar toda la complejidad del movimiento, especialmente cuando la movilización de los segmentos corporales es rápida. El ojo humano sólo puede ver detalles en los movimientos lentos (Trew y Everett, 2001; Morrow *et al.*, 1995; Terauds, 1984). En cualquier caso, no es un método válido para realizar estudios ni valoraciones rigurosas.

Instrumento de medida del arco del movimiento cervical

El aparato fijado a la cabeza del sujeto proporciona mediciones precisas de los movimientos cervicales. Su funcionamiento se basa en una acertada combinación de inclinómetros e imanes. En el mercado existen dos tipos de instrumentos de medida: el CROM y el BROM.

Seguimiento del contorno

En las pequeñas articulaciones de los dedos de las manos y de los pies se puede hacer un **seguimiento del contorno** mediante un hilo de plomo o un material maleable que nos permita reproducir fácilmente el contorno (figura 5.25).

4.3. Métodos indirectos de medición de la movilidad articular

Para la **medición indirecta de la movilidad articular** se utiliza normalmente la medición lineal de distancias entre segmentos corporales o desde un objeto externo a un segmento corporal. El desplazamiento angular global está reflejado por la **distancia corporal comprendida entre dos puntos de referencia concretos**, cutáneos u óseos, que delimitan los extremos de la región corporal estudiada. Este tipo de tests son en general relativamente simples de aplicar, pero presentan **muchos problemas para interpretar los resultados**, sobre todo cuando queremos comparar a sujetos. Como ejemplo, citamos que en el test de dislocación con pica los sujetos con las extremidades superiores más cortas obtienen un mejor resultado aunque en

realidad el ángulo de separación de los brazos sea exactamente el mismo que en los sujetos con las extremidades superiores más largas. En el test espagat lateral sucede algo parecido, pero ahora obtienen mejores resultados los sujetos con piernas más largas (figura 5.26). Este razonamiento puede hacerse extensible a todos los tests indirectos que basan su resultado en la medición de la distancia de separación entre segmentos corporales o desde un segmento corporal a una referencia externa. Lógicamente, cualquier medición supone un cierto grado de error, pero es necesario conocer su magnitud para determinar cómo afecta la interpretación de los resultados. Evidentemente, el error será mayor a medida que las diferencias entre las mediciones antropométricas de los sujetos comparados aumenten (Broer y Galles, 1958; Wear, 1963; Platonov, 1988).

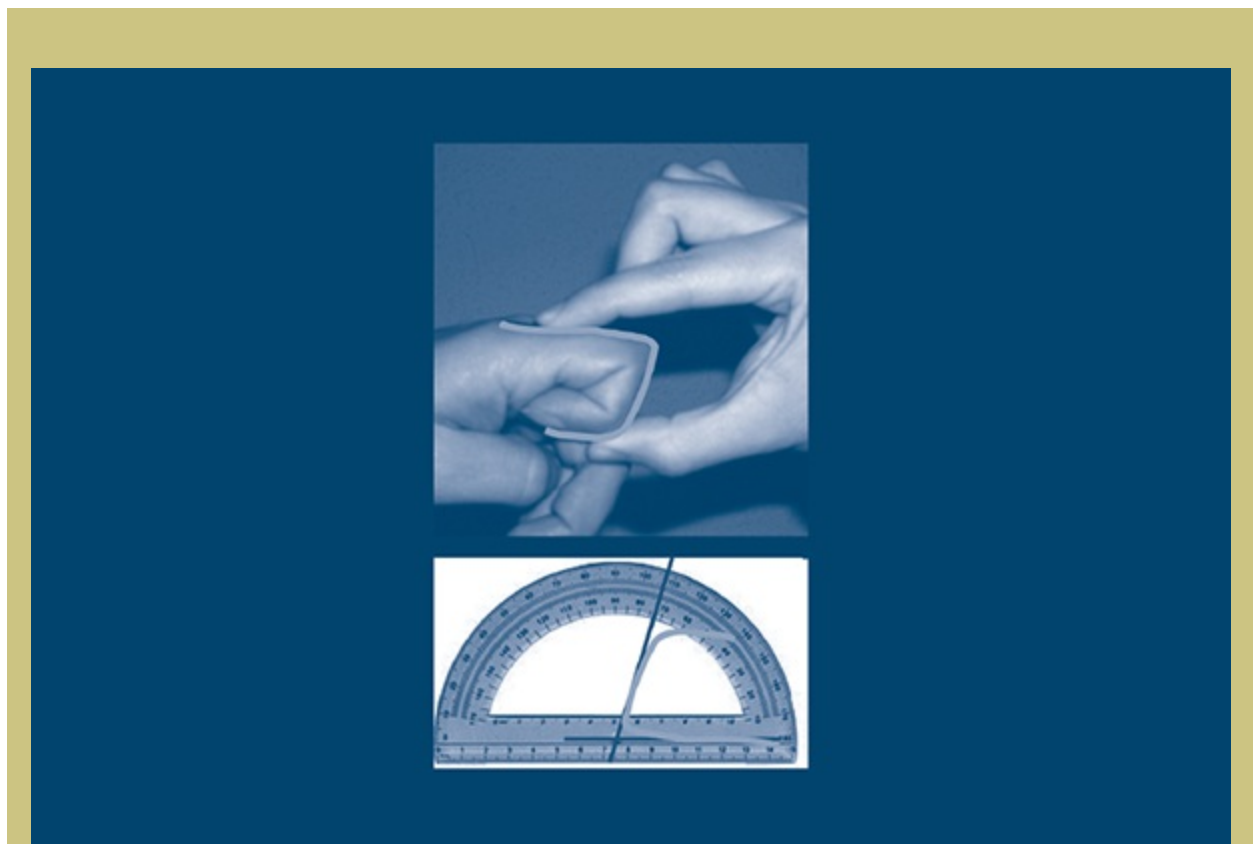


FIGURA 5.25. Estimación de la ADM mediante el seguimiento del contorno. En articulaciones pequeñas como una interfalángica cabe utilizar un material maleable que se pueda ajustar al contorno del dedo. Se requiere además que mantenga la misma forma cuando sea retirado de la articulación. Una vez que se tiene el molde, se superpone en un transportador para determinar el ángulo.

Adaptado de Génot C et al. Kinesioterapia. Tomo I. Médica Panamericana, 1988.

Coeficientes de fiabilidad y objetividad

A pesar de que la mayoría de los tests indirectos presentan una dudosa validez, su **fiabilidad y objetividad** son a menudo bastante elevadas. En la tabla 5.3 se indican los valores de fiabilidad y objetividad determinados por distintos autores para algunos de los tests de medición indirecta de la flexibilidad.

Análisis teórico de los índices de flexibilidad articular

En determinadas ocasiones el resultado de un test de flexibilidad relaciona diferentes parámetros en un solo **índice de flexibilidad articular**, como es el caso del giro de hombros con bastón que permite expresar el grado de flexibilidad como la diferencia entre el resultado del test (DS) y la anchura de hombros (Ae) (Hoeger, 1987). En la tabla 5.4 se cita el nombre de algunos de estos tests con su índice correspondiente.

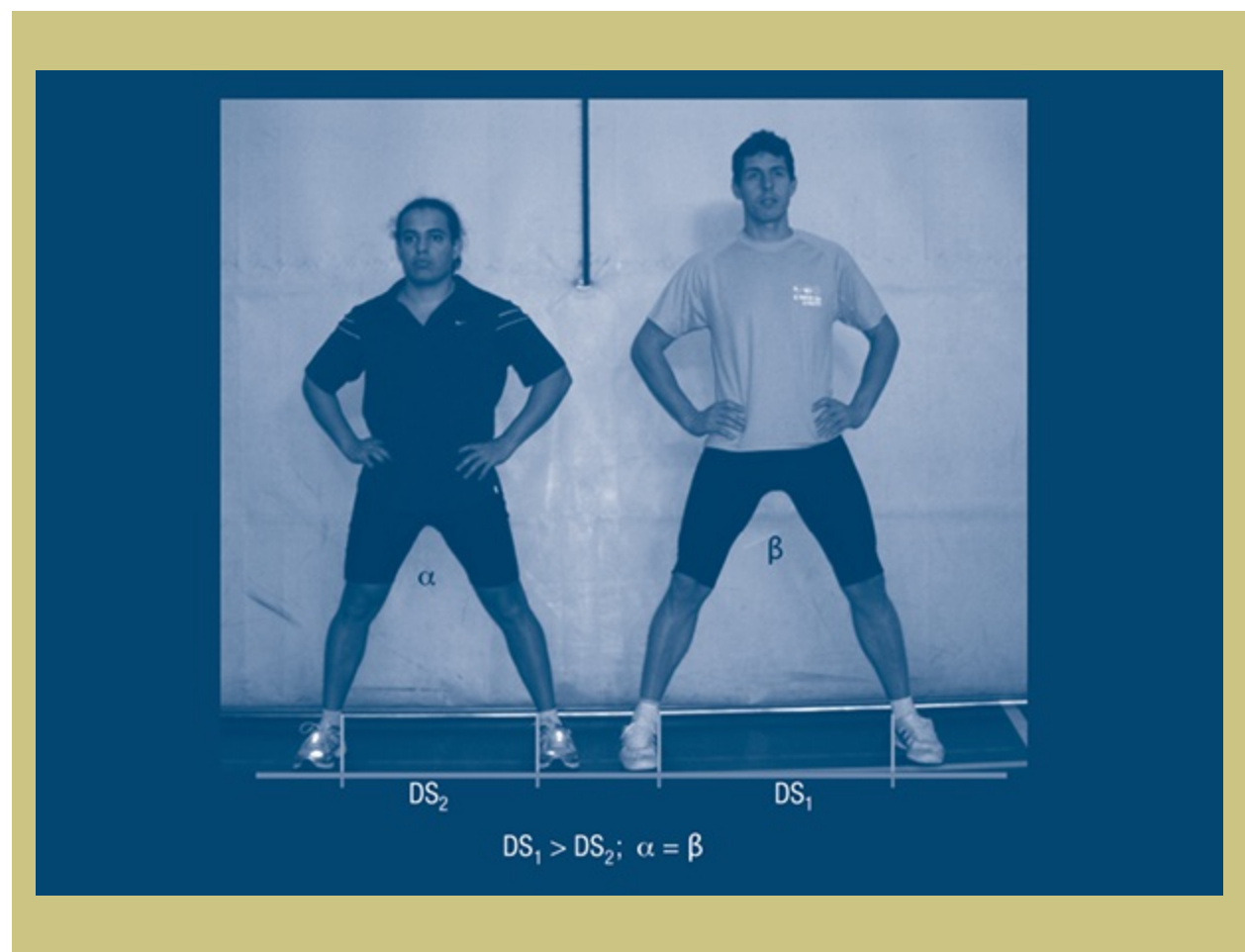


FIGURA 5.26. Valores de distancia entre segmentos obtenidos al realizar el test espagat lateral a deportistas con longitudes de pierna distintas. Para un mismo ángulo, la distancia entre segmentos es superior en el deportista más alto.

Original del autor con permiso de los deportistas.

TABLA 5.3. Fiabilidad y objetividad de algunos tests de medición indirecta de la flexibilidad

	<i>Fiabilidad</i>	<i>Objetividad</i>	
<i>Extremidades inferiores y anillo pélvico</i>			
Espagat frontal	0,91	0,99	Johnson y Nelson (1986)
Espagat lateral	0,92	0,99	Jonson (1978)
Extensión de tobillo	0,88	0,99	Johnson y Nelson (1986)
<i>Extremidades superiores</i>			
Elevación de hombro y muñecas con pica	0,93	0,99	Johnson y Nelson (1986)
Test de rascarse la espalda	0,81*, 0,88**		Nicoloff (1955)
Pasar la mano por encima del hombro contrario	0,94*, 0,83**		
Cogerse las manos por la espalda	0,96**		
Giro de hombros con bastón	0,97	0,99	Johnson y Nelson (1986)
<i>Columna vertebral</i>			
Extensión de espalda y cuello	0,90	0,99	Johnson y Nelson (1986)
Test de extensión de Fleischman	0,90		Fleischman (1964)

* Brazo derecho.

** Brazo izquierdo. Objetividad correlacionando experimentados y no experimentados.

Original del autor.

TABLA 5.4. Índice de valoración de algunos tests de medición indirecta de la flexibilidad

Elevación de hombro y muñecas con pica	I=DS/Lb
Flexibilidad de hombros en plano inclinado	I=DS/At
Giro de hombros con bastón	I=DS-Ae I=DS/Ae

DS: distancia de separación entre segmentos corporales; Lb: longitud del brazo; At: talla del sujeto; Ae: anchura de hombros.

Original del autor.

Test de flexibilidad multiarticular

Para la mayoría de los autores, la **ADM articular** no existe entendida como una característica general del cuerpo humano, sino que es **específica para cada articulación y movimiento** de la articulación (Fox *et al.*, 1989; Alter, 1988; Bryant, 1984; Corbin y Noble, 1980; Munroe y Romace, 1975; Sigerseth, 1971; Harris, 1969; Dickenson, 1968; Leighton, 1957; Hupprich y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Sigerseth, 1950). La existencia de mucha ADM en una articulación no asegura que también haya mucha ADM en las otras articulaciones. Por eso, la amplitud del movimiento en un lado de la cadera puede que no esté relacionada con la amplitud del movimiento en el otro lado (Alter, 1990). Por esta razón, ninguna prueba o test de evaluación de la movilidad articular activa o pasiva puede ofrecernos un índice satisfactorio de la ADM de un sujeto (Harris 1969).

Destaquemos también que en los tests indirectos existen muchas **variables que no podemos controlar** (Johnson y Langford, 1989; Johnson y Baker, 1986). En muchos casos la posición inicial es totalmente arbitraria y los movimientos estudiados son el resultado de una combinación de movimientos de diversas articulaciones, lo que dificulta determinar qué es lo que en realidad se está midiendo. Leger y Cantin (1983) demostraron que el test de Cureton y el *sit and reach* de Wells y Dillon no se podían intercambiar porque no medían las mismas variables. Al mismo tiempo, las medidas antropométricas contribuyen notablemente al resultado final. Cuando se realiza un test, no se distingue con claridad qué músculos están tensos, estirados o simplemente no han modificado su longitud. Por eso, los resultados de los tests no permiten saber con certeza qué estamos estirando y cuáles son las estructuras involucradas en el movimiento.

En la figura 5.27 se puede comprobar que en el test de inclinarse hacia delante el resultado final puede tener diferentes interpretaciones. Por un lado, puede haber una hiperelongación de los músculos lumbares, una excesiva rigidez de los músculos isquiotibiales y una elongación normal del tríceps sural. Por otro lado, el sujeto puede presentar una longitud o elongación normal de los músculos de la espalda, de los isquiotibiales y del tríceps sural. También podemos detectar sujetos con una elongación normal de la parte superior de la espalda, los isquiotibiales y del tríceps sural. Finalmente, podemos encontrar a sujetos con una elongación normal de la parte superior de la espalda, de los isquiotibiales y del tríceps sural, pero con unos músculos rígidos en la zona lumbar (Kendall *et al.*, 1971).

Corbin (1973) sugiere que las mujeres tienen ventajas en la valoración de la flexibilidad después de la pubertad en movimientos como la flexión de tronco debido a la posición más baja de su centro de gravedad y a una longitud de piernas menor. Otros estudios que relacionan la estructura corporal y la ADM han llegado a conclusiones diferentes. Algunos de ellos establecen que la estructura corporal, determinada por la longitud de los

segmentos, no está correlacionada significativamente con el test de flexibilidad de tocarse las puntas de los pies (Mathews *et al.*, 1959; Broer y Gales, 1958; Mathews *et al.*, 1957). En cambio, Wear (1963) comprobó que las personas con biotipos extremos presentan la relación entre la longitud del tronco más la del brazo con la longitud de las piernas como un factor significativo en la realización del test. De esta manera, las personas con una medida de tronco más brazo grande y longitud de la pierna relativamente corta tienen ventaja sobre las personas con piernas largas y el conjunto tronco más brazo relativamente corto. El test de Kraus-Weber (de pie tocar el suelo) fue utilizado por Graus y Hirschland (1954) para medir la condición física de los jóvenes norteamericanos, pero en el año 1965 fue catalogado por la American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance (AAHPERD) como de poca validez. Fruto de esta situación, unos años más tarde (1970) el International Committee for the Standarization of Fitness Test (ICSFT) aprobó en Oxford una batería en la cual se incluía una variante de la prueba de Graus-Weber, consistente en realizar la flexión de tronco encima de un cajón para poder registrar valores positivos y negativos. Más tarde, los dos tests fueron sustituidos por el test *sit and reach* (Wilson y Russell, 1985) y en 1980 este test fue seleccionado como test de flexibilidad de la asociación AAHPERD. Posteriormente, la PCPFS (President's Council on Physical Fitness and Sports) también lo incluía en su batería de tests. En el año 1988, la AAHPERD realizó diversos cambios en su bateria de tests pero continuó manteniendo el test *sit and reach*.



FIGURA 5.27. De pie, flexión del tronco hacia delante.

Original del autor con permiso del deportista.

De las muchas pruebas de flexibilidad multiarticular que se han utilizado hasta ahora, pocas han comprobado su validez (Jensen y Hirst, 1980), y en general continúan realizándose sin dar respuesta a dos cuestiones fundamentales. La primera es si realmente el resultado final tiene alguna relación con las ADM parciales de las principales articulaciones involucradas en el test (Hubley, 1988), y la segunda es determinar si el resultado final de la medida está influido por las medidas antropométricas.

La mayoría de los tests indirectos multiarticulares estudiados miden la amplitud del movimiento mediante unidades lineales (pulgadas o centímetros). De todos ellos, podemos destacar el test de flexión de tronco hacia delante, el *sit and reach* y el *sit and reach* modificado, el puente y el tot flex. En todos estos tests el valor obtenido en ningún caso puede ser considerado una referencia del grado de ADM de las diferentes articulaciones involucradas en la prueba.

TABLA 5.5. Índice de valoración de algunos tests multiarticulares de medición indirecta de la flexibilidad

El puente	$I = DS - \text{altura del sujeto}$
Test de salto de valla	$I = La - Lp / DS$

DS: distancia de separación entre segmentos corporales; La: alcance absoluto del sujeto; Lp: longitud de pierna. Véase el texto para una mejor comprensión de la tabla.

Original del autor.

Los tests multiarticulares más relevantes que expresan el resultado final mediante un **índice de ADM** son el puente y el test de salto de valla (tabla 5.5).

El puente

El puente supuestamente es un test que mide la hiperextensión de la espalda, pero lógicamente hay que remarcar la gran influencia de la movilidad del hombro en el resultado final. Este test no se puede aplicar a todos los grupos de edad y las normas de ejecución son incompletas. Por todo ello, en numerosas ocasiones se ha cuestionado su validez (Kirby, 1991).

El valor de la distancia entre segmentos (DS) corresponde a la mínima distancia entre el punto más alto de la espalda y el suelo. Finalmente, el índice relaciona esta distancia obtenida con la altura del sujeto. A veces se recomienda como alternativa medir simplemente la distancia entre las manos y los pies. En cualquier caso, el valor final del índice se establece a través de la altura del sujeto dejando de lado, sin demasiado criterio, la longitud del brazo. Sería más acertado utilizar el alcance del sujeto a dos manos (La), ya que la longitud del brazo modifica notablemente el resultado final. Sin embargo, hay que resaltar que el índice utilizado es una interesante aproximación a la consideración de la morfología corporal para intentar eliminar su influencia.

Test de salto de valla

El test de salto de valla propugnado por Grosser (1976) relaciona el alcance absoluto del sujeto (La) y la longitud de la pierna (Lp). El valor obtenido al restar los dos valores es una medida aproximada de la longitud del tronco

más la longitud del brazo. Finalmente, se divide el resultado obtenido por el valor estimado al pasar el test (DS).

El índice obtenido es del todo independiente de la longitud del tronco y del brazo. De hecho, dos personas con diferente longitud de tronco y piernas que alcancen una DS proporcional a su morfología corporal obtendrían el mismo resultado. De esta forma, dos sujetos que obtuviesen como resultado al pasar el test una DS igual a la mitad del valor de la longitud del tronco más la del brazo obtendrían el mismo valor en el índice, independientemente del valor antropométrico (tabla 5.6).

Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos al administrar la mayoría de los tests de ADM indirectos, en los cuales se acepta como medida final la distancia en centímetros entre dos segmentos corporales o de un segmento corporal a una referencia externa, sólo pueden utilizarse para estudiar la evolución de un sujeto, no siendo adecuado realizar cualquier **comparación con otros sujetos**.

En la **etapa de crecimiento**, las restricciones deben ser aún mayores. En este supuesto no debemos obviar los errores en la interpretación de los resultados si hay modificaciones de los segmentos corporales implicados directamente en la medición. A su vez, los cambios constantes que se producen en las estructuras corporales con el envejecimiento también pueden tener cierta trascendencia en el resultado, aunque normalmente la repercusión será menor que en las etapas de crecimiento.

TABLA 5.6. Análisis comparativo de dos sujetos que obtienen como resultado del test de salto de valla una DS igual a la mitad del valor de la longitud del tronco más la del brazo

Sujeto "A"	Sujeto "B"
$Lt_1 + Lb_1 = DS_1 / 2$ $DS_1 = 2(Lt_1 + Lb_1)$ $I_1 = Lt_1 + Lb_1 / DS_1$ $I_1 = Lt_1 + Lb_1 / 2(Lt_1 + Lb_1)$ $I_1 = 1/2$	$Lt_2 + Lb_2 = DS_2 / 2$ $DS_2 = 2(Lt_2 + Lb_2)$ $I_2 = Lt_2 + Lb_2 / DS_2$ $I_2 = Lt_2 + Lb_2 / 2(Lt_2 + Lb_2)$ $I_2 = 1/2$

Lt: longitud del tronco; Lb: longitud del brazo; DS: distancia de separación; I: índice de valoración. Véase el texto para una mejor comprensión de la tabla.

Original del autor.

La **validez** de este tipo de tests se ha cuestionado porque a menudo no podemos saber con certeza qué estamos midiendo en realidad.

4.4. Evaluación de la amplitud de la movilidad articular mediante el test flexométrico

El compás flexométrico. Bases teóricas del método corrector. Tests con un centro de rotación

En 1988, en un estudio realizado sobre los principales **tests indirectos de flexibilidad** se encontraron anomalías que cuestionaban el criterio de validez del contenido (Moras y Torres, 1989). Los datos del estudio coincidían con los de otros trabajos realizados por otros autores (MacDougall *et al.*, 1991). Las conclusiones fueron que los resultados de los tests indirectos no pueden utilizarse para comparar a atletas o controlar la evolución de esta capacidad durante la etapa de crecimiento. Los resultados solamente podían utilizarse para comparar a un sujeto consigo mismo y una vez finalizada la etapa de crecimiento.

Para resolver la alta incidencia de las medidas antropométricas en el resultado final de los tests indirectos se construyó un **compás flexométrico** de 0,15 m de brazo, en el cual en la parte superior se encuentra una barra graduada de 0,30 m de longitud, solidaria con uno de los brazos del compás y deslizante con el otro. Esta disposición delimita un triángulo isósceles que mantiene constante siempre la longitud de sus dos brazos. Otra barra, también graduada y de 0,30 m, se acopla al compás, siendo solidaria y deslizante con uno de los brazos del compás y deslizante con el otro, manteniéndose siempre paralela a la barra superior (figura 5.28).

Para administrar el **método corrector** a un test indirecto se transporta a cada brazo del compás flexométrico la longitud de la extremidad objeto de estudio (Lp, longitud de pierna; Lb, longitud de brazo; Lt, longitud de tronco, etc.) y a continuación se separan estos dos puntos mediante la barra inferior de 0,30 m a la distancia obtenida al pasar el test indirecto escogido (DS). Finalmente se realiza la lectura en grados en el transportador situado en la base del compás (figura 5.29).

Este primer método corrector permite corregir los valores obtenidos en todos los **tests indirectos realizados en el plano anteroposterior, con un**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

único centro de rotación y que describan un triángulo isósceles.

En los **tests realizados en otros planos** y en los que intervengan **dos centros de rotación** es obligado realizar algunas adaptaciones al índice. En este caso, para aislar la distancia entre los dos centros de rotación, debe trazarse una paralela a uno de los brazos del compás que pase por el centro de rotación opuesto y que corte el cateto desigual del triángulo isósceles. Así tenemos dos triángulos parecidos que nos permitirán determinar el ángulo articular. Para administrar el método corrector, se transporta a cada brazo del compás flexométrico la longitud de la extremidad objeto de estudio (L_p , longitud de pierna; L_b , longitud de brazo; L_t , longitud de tronco, etc.), y a continuación se separan estos dos puntos mediante la barra inferior de 0,30 m al valor X obtenido al restarle a la distancia obtenida al pasar el test indirecto escogido la distancia entre centros articulares (diámetro bitrocantéreo, diámetro biacromial, etc.). Finalmente se realiza la lectura en grados en el transportador situado en la base del compás (figura 5.30).

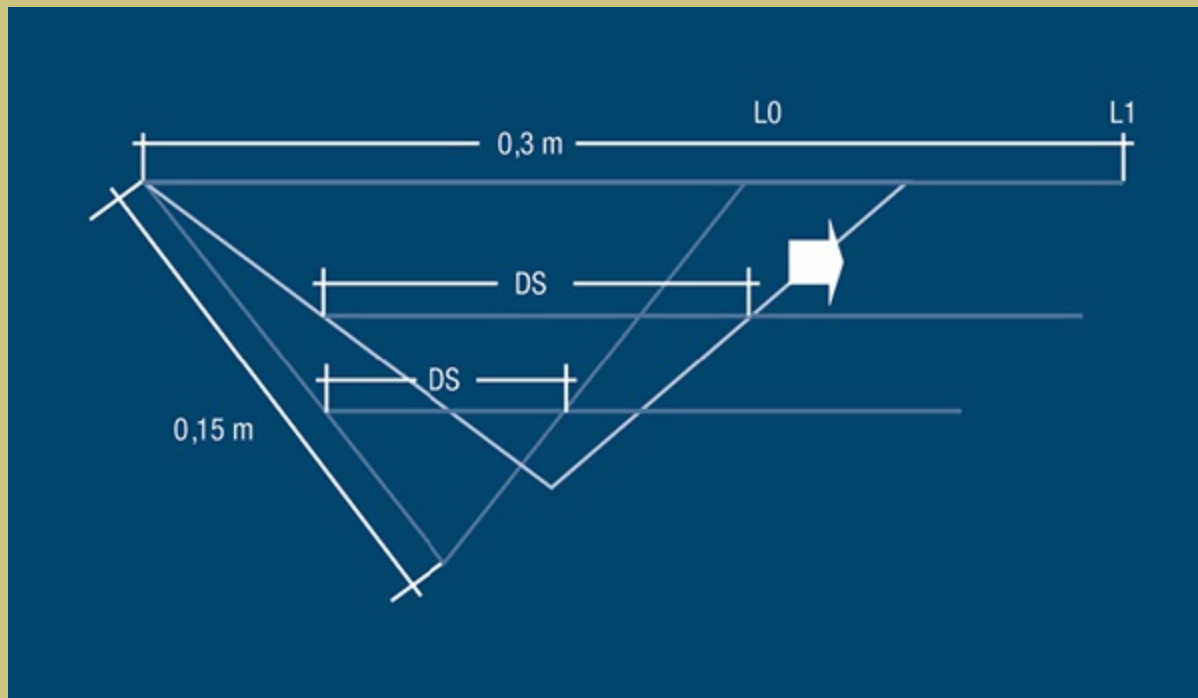


FIGURA 5.28. Compás flexométrico. DS: distancia de separación; L0 y L1: resultado expresado en metros.

Adaptado de Moras G y Torres S. RED 1989;3:14-20.

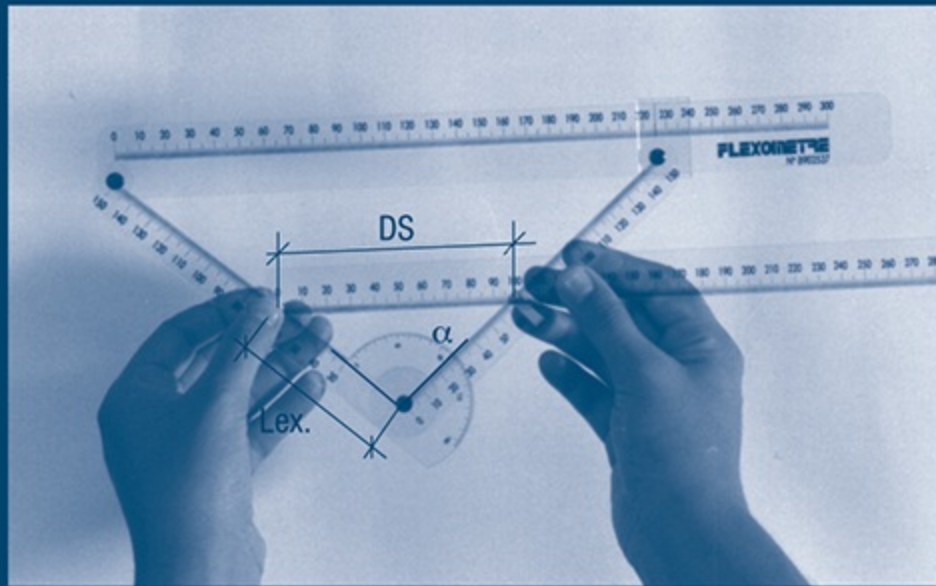


FIGURA 5.29. Lectura de grados en el compás flexométrico. DS: distancia de separación; Lex: longitud de la ex-tremidad objeto de estudio. Medida angular en grados (α).

Reproducido, con permiso, de Moras G y Torres S. RED 1989;3:14-20.

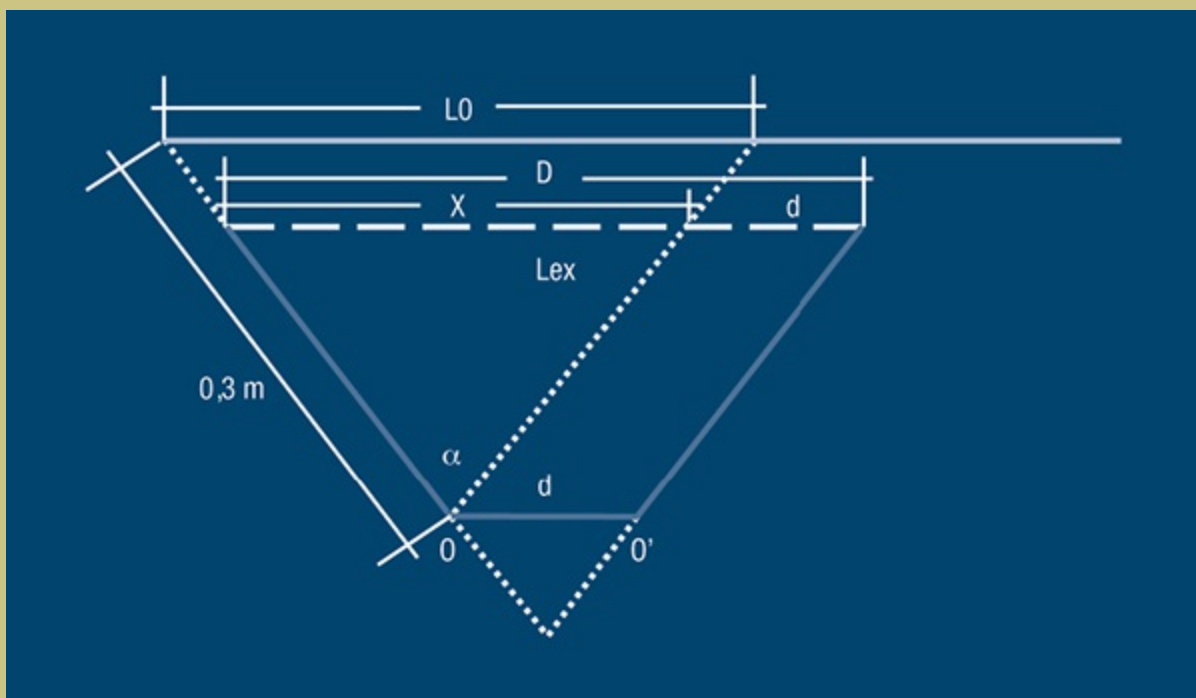


FIGURA 5.30. Utilización del compás flexométrico. Lex: longitud de la extremidad; O y O': centros articulares; d: diámetro corporal; D: distancia de separación; $X = D-d$; α : ángulo.

Original del autor.

El índice flexométrico

Para realizar el cálculo de la ADM articular en los **tests indirectos sin necesidad del compás flexométrico** se utiliza el **índice flexométrico** desarrollado sobre la base de la trigonometría. Concretamente, se utiliza la parte de la trigonometría basada en la resolución de triángulos consistente en determinar las longitudes de los lados y los valores de los ángulos a partir de una información mínima. En este caso era necesario conocer el valor de uno de los ángulos a partir del conocimiento de la longitud de dos lados.

El cálculo se realiza a partir de las propiedades de las llamadas razones trigonométricas. Éstas se definen a partir de un punto P (x, y), de una circunferencia de centro O y por el ángulo α que forma el radio $r = OP$ con el eje OX (figura 5.31). Las razones trigonométricas de un ángulo agudo se pueden determinar con los lados de un triángulo rectángulo que contenga el ángulo (figura 5.32).

Los **tests donde interviene un solo centro de rotación** (O) permiten un cálculo simple del índice flexométrico (figura 5.33). En los **tests donde intervienen dos centros de rotación** es necesario encontrar el ángulo α a partir de la semejanza de triángulos. Esto nos permite encontrar el valor del ángulo una vez calculado el valor X como resultado de la diferencia entre el resultado del test (DS) y el valor de d (distancia de separación entre los dos centros de rotación) (figura 5.34).

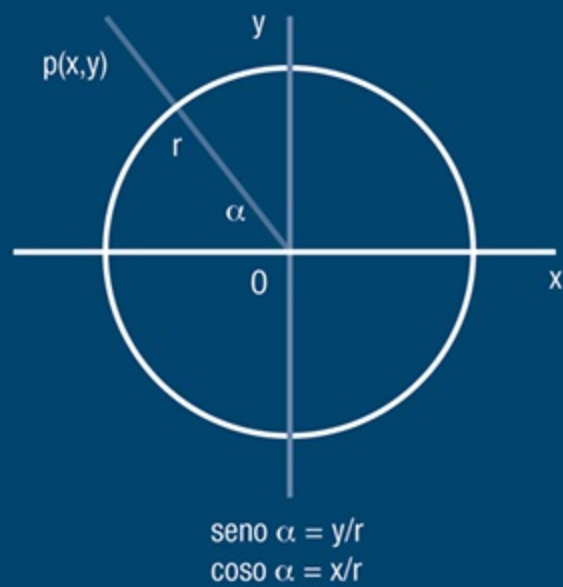


FIGURA 5.31. Circunferencia de referencia para la definición de las razones trigonométricas. Véase el texto para una mejor comprensión de la figura.

Adaptado de Brichs A et al. Curs de matemàtiques III. Serpa, 1979.

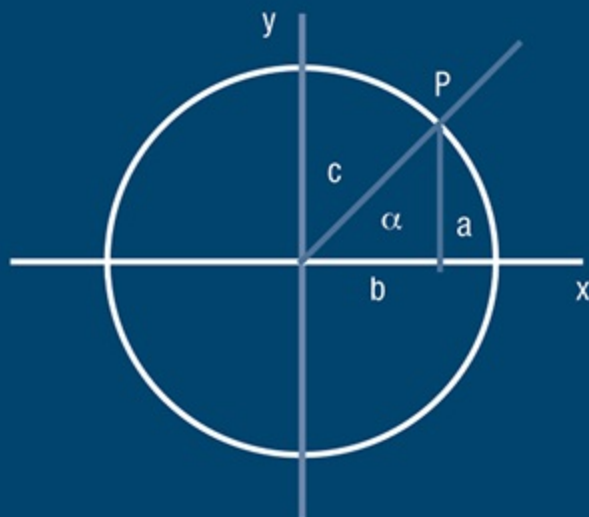


FIGURA 5.32. Representación gráfica de las razones trigonométricas. Si el ángulo es α , a es el cateto opuesto, b es el cateto contiguo y c es la hipotenusa; las funciones trigonométricas son: $\text{seno } \alpha = a/c$; $\text{coseno } \alpha = b/c$.

Adaptado de Brichs A et al. Cours de mathématiques III. Serpa, 1979.

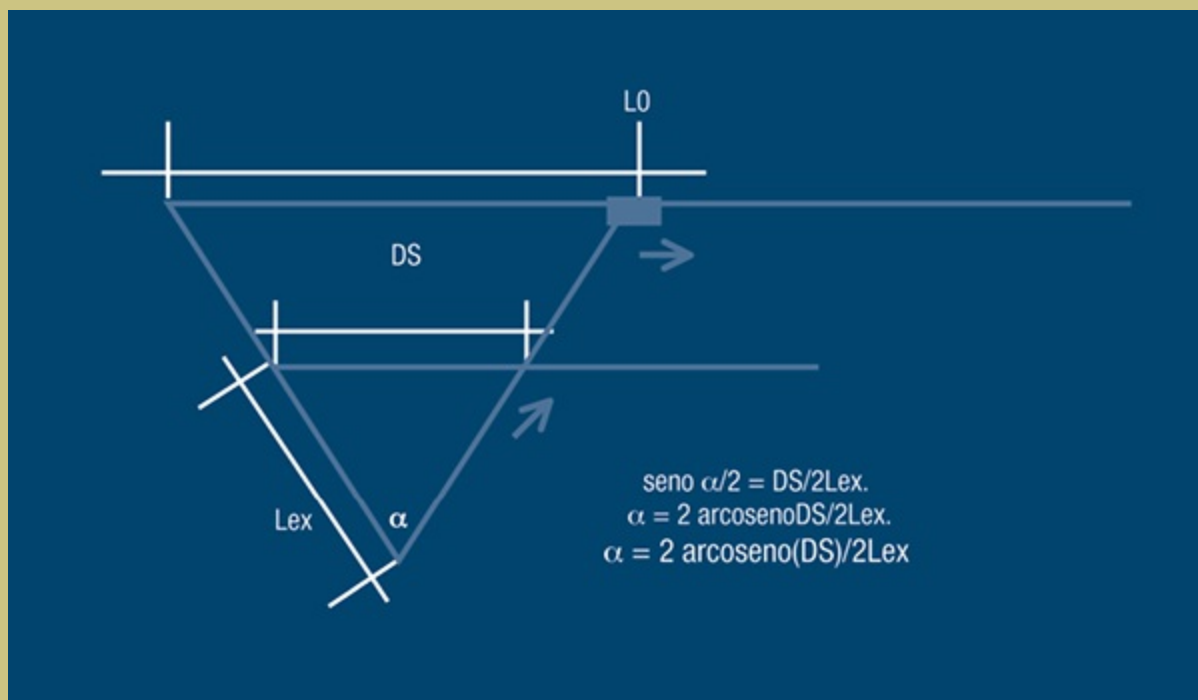


FIGURA 5.33. Medida angular en movimientos con un centro de rotación. Lex: longitud de la extremidad; LO: valor de la ADM en metros; d: diámetro corporal; DS: distancia de separación entre segmentos corporales; α : ángulo.

Original del autor.

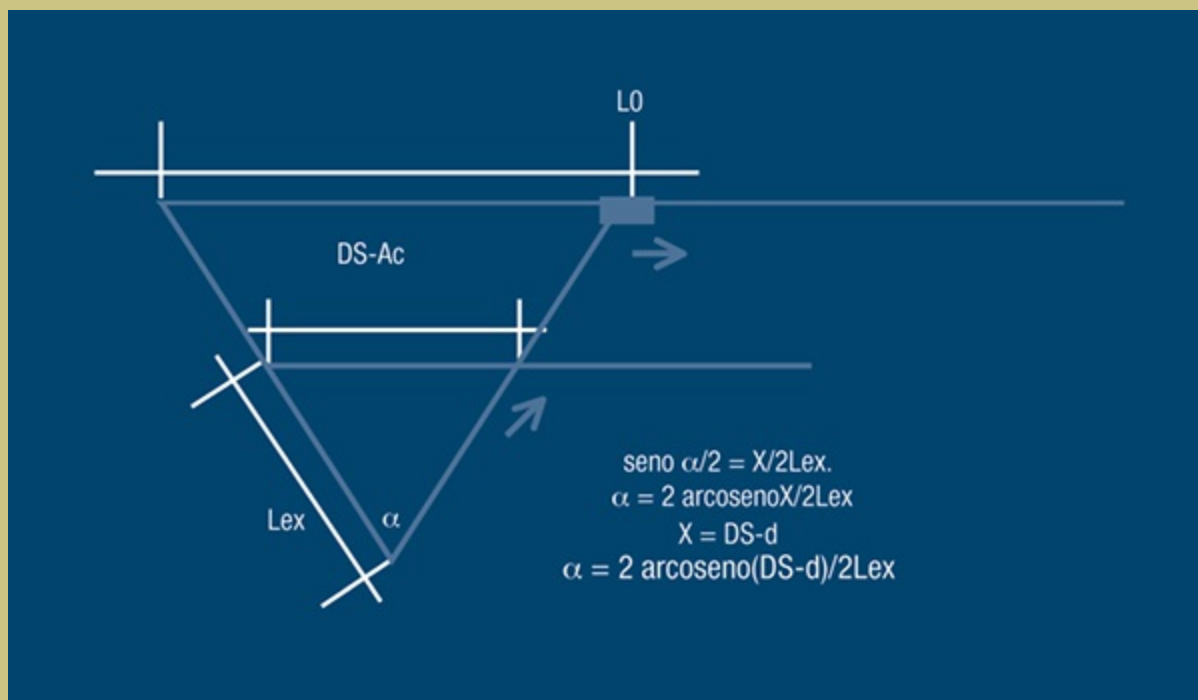


FIGURA 5.34. Medida angular en movimientos con dos centros de rotación (O y O').
Lex: longitud de la extremidad; LO: valor de la ADM en metros; DS: distancia de separación entre segmentos corporales; α : ángulo.

Original del autor.

Estimación de la amplitud del movimiento articular mediante el índice flexométrico

Se establece un **índice corrector de base** (IB) en función de la articulación solicitada y los centros de rotación comprometidos para su posterior aplicación a los tests indirectos. Cuando sean necesarias ciertas modificaciones al IB, debemos utilizar un **índice de base adaptado** (IBA) que se concretará cuando sea necesario.

Extremidades inferiores y anillo pélvico

En la tabla 5.7 se relacionan los principales tests focalizados en las **extremidades inferiores y el anillo pélvico** que comprometen a uno y dos centros de rotación.

Tests con un solo centro de rotación. Índice de base (IB) en grados. $IB = 2\arccos(DS/2Lp)$

Tests con dos centros de rotación. Índice de base (IB) en grados. $IB = 2\arccos(DS-Ac/2Lp)$

TABLA 5.7. Sinopsis de los principales tests aplicados a las extremidades inferiores y anillo pélvico

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
Tests con un solo centro de rotación focalizados en las extremidades inferiores y anillo pélvico				
Espagat frontal	Posición inicial	De pie delante de una espaldera	a) Distancia entre los dos bordes posteriores del calcáneo	P
	Movimiento	Separar las piernas manteniéndolas estiradas con el tronco perpendicular al suelo	b) Mínima distancia entre la sínfisis del pubis y el suelo	PF
	Precauciones	Para equilibrarnos podemos cogernos a las espalderas		
		$b-IB = 2\arccos(DST/Lp)$		
Extensión de tobillo (flexión de tobillo)	Posición inicial	Sentados en el suelo con las piernas estiradas	Mínima distancia entre el lado más distal del plano de la planta del pie y el suelo	A
	Movimiento	Extensión de tobillo		
	Precauciones	La posición de referencia es con el plano de la planta del pie perpendicular al suelo (Lp)		
		$IB = 90-\arccos(DS/Lp)$		
Test flexión de cadera	Posición inicial	Decúbito dorsal con las piernas estiradas	Mínima distancia entre el punto medio de la rótula y el suelo	P
	Movimiento	Llevar las dos piernas flexionadas hacia el pecho y, seguidamente, dejar caer relajada una pierna hacia el suelo		
	Precauciones	La zona lumbar debe estar siempre en contacto con el suelo		
		$IB = \arccos(DS/Lf)$		
Test de flexión de rodilla	Posición inicial	Decúbito ventral	Mínima distancia entre la parte posterior del calcáneo y el suelo	P PF A
	Movimiento	Llevar una pierna hacia los glúteos		
	Precauciones	Evitar en todo momento la extensión de cadera o levantar la rodilla del suelo		
		$IB = \arccos(DS/Lf)$		

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
Test de Thomas	Posición inicial	Decúbito dorsal con las piernas estiradas	Mínima distancia entre la parte mediana de la rótula y el suelo	P
	Movimiento	Flexionar una pierna manteniendo la otra estirada		PF
	Precauciones	Mantener la zona lumbar en todo momento en contacto con el suelo		A
	IB=arccoseno(DS/Lf)			
Estirado, elevación de la pierna	Posición inicial	Decúbito dorsal con las piernas estiradas	Mínima distancia entre los calcáneos (parte posterior)	P
	Movimiento	Elevar una pierna manteniéndola totalmente estirada		PF
	Precauciones	Mantener la pierna fija estirada y en contacto con el suelo, y la zona lumbar en contacto con el suelo		A B
De pie, elevación de la pierna	Posición inicial	De pie al lado de una espaldera	Mínima distancia entre los calcáneos (parte posterior)	PF
	Movimiento	Elevar una pierna manteniéndola totalmente estirada		A
	Precauciones	Mantener la pierna fija estirada		B
Tests con dos centros de rotación focalizados en las extremidades inferiores y el anillo pélvico				
Espagat lateral	Posición inicial	De pie	a) Distancia entre los dos lados posteriores del calcáneo b) Mínima distancia entre la sínfisis del pubis y el suelo	P
	Movimiento	Separar las piernas manteniéndolas estiradas. Abducción de las piernas		PF
	Precauciones	Mantener el tronco perpendicular al suelo. Para equilibrarse el sujeto se puede coger a unas espalderas		
Test de la mariposa	Posición inicial	Sentado con las piernas flexionadas y las plantas de los pies enfrentadas	Mínima distancia entre el punto medio de la rótula y el suelo	P
	Movimiento	Llevar las rodillas hacia el suelo		PF
	Precauciones	Mantener siempre en contacto las plantas de los pies		A
	IB = 2arccoseno (DS/Lf)			
Sentado, separación de piernas	Posición inicial	Sentado en el suelo, con el tronco perpendicular y las manos apoyadas detrás del cuerpo	a. Mínima distancia entre los dos lados externos del calcáneo b. Mínima distancia entre los dos puntos medios de las rótulas	A
	Movimiento	Separar al máximo las piernas manteniéndolas estiradas		PF
	Precauciones	Mantener el tronco perpendicular al suelo		
Tumbado de lado, separación de piernas	Posición inicial	Decúbito lateral con las piernas estiradas	Mínima distancia entre los lados externos de los calcáneos	PF
	Movimiento	Abducción de una pierna manteniendo la otra pegada al suelo		A
	Precauciones	Intentar no flexionar el tronco o hacer movimientos de rotación de cadera		B

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
Separación de piernas con apoyo en la pared	Posición inicial	Decúbito dorsal con las piernas perpendiculares al suelo y apoyadas en una pared	Mínima distancia entre los lados externos de los calcáneos	P PF
	Movimiento	Separar las piernas manteniéndolas en todo momento estiradas		
	Precauciones	Los glúteos deben estar en todo momento en contacto con la pared		

IB: aplicación índice de base; DS: distancia de separación entre segmentos corporales; Lp: longitud de pierna; Lf: longitud del muslo; P: movimiento pasivo; PF: movimiento pasivo forzado; A: movimiento activo lento; C: movimiento cinético.

Original del autor.

Extremidades superiores

En la tabla 5.8 se relacionan los principales tests focalizados en las **extremidades superiores** que comprometen a uno y dos centros de rotación.

Tests con un solo centro de rotación. Índice de base (IB) en grados. $IB = 2 \arccos(DS/2Lb)$

Tests con dos centros de rotación. Índice de base (IB) en grados. $IB = 2 \arccos(DS - Ae/2Lb)$

TABLA 5.8. Sinopsis de los principales tests aplicados a las extremidades superiores

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
Tests con un solo centro de rotación focalizados en las extremidades superiores				
Test de crol de espalda	Posición inicial	De pie	Mínima distancia entre los dos bordes externos de las muñecas (apófisis estiloides del cúbito)	A
	Movimiento	Llevar un brazo hacia arriba y hacia atrás y el otro hacia abajo y también hacia atrás manteniéndolos en todo momento estirados y en la vertical del cuerpo		
	Precauciones	Si se arquea mucho la espalda, se recomienda realizar el test sentados en un plinto		
Abducción horizontal de brazos delante de una pared	Posición inicial	De pie delante de una pared	Mínima distancia entre la pared y cada uno de los bordes externos de las muñecas (apófisis estiloides del cúbito)	PF A
	Movimiento	Abducción horizontal de los dos brazos manteniéndolos perpendiculares al tronco		
	Precauciones	No separar en ningún momento el pecho de la pared		
Tests con dos centros de rotación focalizados en las extremidades superiores				
Flexibilidad de hombro. Abducción horizontal	Posición inicial	Sentado en un banco, con el tronco perpendicular al suelo	Mínima distancia entre ambos bordes externos de la muñeca (apófisis estiloides del cúbito)	PF A
	Movimiento	Llevar los brazos estirados hacia atrás manteniéndolos perpendiculares al tronco		
	Precauciones	No modificar la posición del tronco		

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
<i>Flexibilidad de hombro en plano inclinado</i>	Posición inicial	Decúbito supino en un banco inclinado a 45°	Mínima distancia entre los dos bordes externos de las muñecas (apófisis estiloides del cúbito)	P PF
	Movimiento	Juntar las manos por detrás del cuerpo manteniendo los brazos estirados y perpendiculares al tronco		
	Precauciones	Es muy importante que los brazos tengan siempre la misma posición respecto al cuerpo		
<i>Giro de hombros con bastón (evitar realizar más de 3-4 intentos para determinar la DS)</i>	Posición inicial	De pie, sujetando con las dos manos una pica por delante del cuerpo	a,b,c) Mínima distancia entre los dos bordes externos de las manos (DS). Lado externo del quinto metacarpiano	A
	Movimiento	Sin doblar los brazos ni perder el contacto de la palma de la mano con el bastón, pasar el bastón por encima de la cabeza y hacia atrás hasta la espalda		
	Precauciones	Comenzar el movimiento cogiendo el bastón con una separación cómoda y progresivamente cerrar las manos hasta encontrar el límite después de 3-4 intentos		

P: movimiento pasivo; PF: movimiento pasivo forzado; A: movimiento activo lento. En todos los tests presentados es posible calcular el índice corrector de base.

Original del autor.

Columna vertebral

En la tabla 5.9 se relacionan los principales tests focalizados en la **columna vertebral** que comprometen a uno y dos centros de rotación.

Índice de base (IB) en grados. $IB = 2 \arccos(DS/2Lt)$

Tests de ADM general

A continuación se describen los principales **tests de ADM multiarticulares** (tabla 5.10) a los cuales es extremadamente difícil aplicar el **índice corrector**. Aunque el concepto de ADM global o general del cuerpo humano es cuestionado por muchos autores, creemos que son tests de valoración que pueden aportar información valiosa en determinados momentos. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que no es recomendable utilizar estos tests para comparar sujetos con biotipos diferentes. Se recomienda comparar los valores

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

obtenidos por el mismo sujeto y, si es posible, una vez completada la etapa de crecimiento. Los rápidos e importantes cambios antropométricos en las etapas de crecimiento varían el resultado final del test (DS) sin que necesariamente se haya producido una modificación de la ADM de las diferentes articulaciones implicadas en el test.

TABLA 5.9. Sinopsis de los principales tests aplicados a la columna vertebral

Test	Descripción/realización		Valoración (DS cm)	Mov.
Extensión de espalda y cuello	Posición inicial	En decúbito ventral con las piernas estiradas	Mínima distancia entre el vértice de la cabeza (extremo más distal) y el suelo	A
	Movimiento	Intentar separar el tronco y la cabeza del suelo (hiperextensión) manteniendo los brazos detrás el cuerpo y las manos en los glúteos		
	Precauciones	No levantar los pies del suelo. Es recomendable explicitar si el test se realiza con los pies sujetos o libres		
Extensión de espalda	Posición inicial	Decúbito ventral	Mínima distancia entre el vértice distal de la cabeza y el trocánter mayor	A
	Movimiento	Elevar el tronco con ayuda de las manos		
	Precauciones	Mantener la pelvis en contacto con el suelo		
Test canadiense	Posición inicial	Decúbito dorsal con las piernas flexionadas 90° y los brazos estirados y paralelos entre ellos	Diferencia entre la distancia entre la posición de los dedos de las manos con el tronco relajado y la distancia alcanzada al flexionar el tronco sin levantar la zona lumbar del suelo. Siempre medimos la distancia alcanzada por la mano más retrasada	A
	Movimiento	Acercar los dedos de las manos a los pies sin levantar la zona lumbar del suelo		
	Precauciones	Mantener los brazos pegados al cuerpo		
Inclinación lateral del tronco	Posición inicial	De pie, con los brazos estirados y cogidos	Mínima distancia entre el lado externo de la muñeca y el externo del calcáneo del lado del movimiento	P-A
	Movimiento	Inclinación del tronco hacia un lado		
	Precauciones	Los brazos y el cuerpo deben mantenerse en todo momento en el plano frontal		
Test de Schober total	Posición inicial	De pie, con los brazos y el tronco relajado	a) LT: determinar la distancia entre la primera vértebra dorsal y la última lumbar con el sujeto en posición anatómica. Posteriormente, determinar esta misma distancia en posición inclinada hacia adelante. b) LT: determinar la distancia entre el manubrio esternal y el lado anterior suprapúbico con el sujeto de pie y, después, medir la misma distancia con la máxima inclinación posible hacia atrás	P A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante. Extensión de tronco		
	Precauciones	Mantener en todo momento las piernas estiradas		

$$IB = 2 \arccos(DS/2LT)$$

IB: aplicación índice de base; P: movimiento pasivo; A: movimiento activo lento; LT: longitud del tronco.

Original del autor.

TABLA 5.10. Descripción de los tests de ADM multiarticular

Test	Descripción/Realización		Valoración (DS cm)	Mov.
<i>Flexión de tronco hacia delante</i>	Posición inicial	Sentados en el suelo con las piernas juntas y estiradas	Distancia entre el calcáneo y el extremo más distal de las manos. Las dos manos deben estar superpuestas	A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante tocando con las manos el suelo en el punto más alejado del cuerpo posible		
	Precauciones	No flexionar las piernas ni hacer movimientos bruscos		
<i>Sit and reach</i>	Posición inicial	Sentados en el suelo con las piernas juntas y estiradas y la planta de los pies en contacto con el cajón	Distancia entre el punto 0 del cajón y el extremo más distal de las manos en el punto de máxima flexión mantenida. Las dos manos deben estar superpuestas	A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante, intentando alcanzar con las dos manos superpuestas lo más lejos posible deslizándolas por la parte superior del cajón		
	Precauciones	No flexionar las piernas		
<i>Sit and reach (modificado)</i>	Posición inicial	Sentado en el suelo con las piernas juntas y estiradas, la planta de los pies en contacto con el cajón, la espalda apoyada en la pared y los brazos estirados. El punto cero del cajón debe coincidir con el punto más distal de las manos superpuestas manteniendo la posición inicial. En ningún momento podemos perder el contacto de la espalda con la pared	Distancia entre el punto 0 del cajón y el extremo más distal de las manos en el punto de máxima flexión mantenida. Las dos manos deben estar superpuestas	A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante e intentando llegar con las dos manos superpuestas lo más lejos posible deslizándose por la parte superior del cajón		
<i>El puente</i>	Posición inicial	Decúbito dorsal	Mínima distancia entre el borde externo del calcáneo y el talón de la mano	A
	Movimiento Precauciones	Intentar acercar las manos y los pies manteniendo la planta de los pies en contacto con el suelo		
<i>Flexión de tronco encima de un banco</i>	Posición inicial	De pie encima de un banco con las piernas juntas y estiradas y la punta de los pies en límite con el banco	Distancia entre la parte superior del banco y el extremo distal de las manos superpuestas en el punto de máxima flexión de tronco mantenida	A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante manteniendo las piernas estiradas y tocando con las manos superpuestas la parte lateral del banco		

<i>Test</i>	<i>Descripción/Realización</i>		<i>Valoración (DS cm)</i>	<i>Mov.</i>
<i>De pie tocar el suelo</i>	Posición inicial	De pie con las piernas juntas y estiradas	Mínima distancia entre el extremo más distal de las manos y el suelo	A
	Movimiento	Flexión de tronco intentando tocar el suelo con las manos		
	Precauciones	No flexionar las piernas. Mantener las palmas de las manos enfrentadas		
<i>Tot flex</i>	Posición inicial	Sentados en el suelo delante de una pica	Mínima distancia entre las dos picas	A
	Movimiento	A) intentar acercarse al máximo a la pica separando las piernas. B) Giro de hombros con bastón. C) Sin modificar la posición de las piernas y de los brazos de la fase B, flexionar el tronco hacia delante		
	Precauciones	No flexionar las piernas		
<i>Test de salto de valla</i>	Posición inicial	sentados en el suelo en posición de salto de valla	Mínima distancia entre el límite de la madera y el extremo más distal de los dedos	A
	Movimiento	Flexión de tronco hacia delante		
	Precauciones	Mantener la pierna flexionada en todo momento en contacto con el límite de la madera		
<i>Test de tocar el suelo durante 3 seg</i>	Posición inicial	De pie con las piernas juntas y estiradas	Mínima distancia entre el extremo más distal de las manos y el suelo	A
	Movimiento	Flexión de tronco intentando tocar el suelo con las manos. Mantener la posición final 3 seg		
	Precauciones	No flexionar las piernas. Mantener las palmas de las manos enfrentadas		

IB: aplicación índice de base; A: movimiento activo lento. En todos los tests presentados se aplica el índice corrector de base.

Original del autor.

Síntesis

- La valoración de la amplitud del movimiento articular debe atender a las necesidades específicas de cada modalidad deportiva. Debido a la gran cantidad de articulaciones y movimientos y a los tests habitualmente utilizados no es fácil realizar una valoración válida.
- Con el objetivo de incrementar la validez y fiabilidad durante la

medición de la amplitud del movimiento activa, pasiva, pasiva forzada y balística, se han desarrollado instrumentos que permiten adaptarse a las diferentes longitudes de las extremidades y a la gran complejidad de movimientos.

- La mayoría de los tests utilizados para valorar la amplitud del movimiento articular son individuales y sencillos como los tests monoarticulares, ya que realizan su estudio en condiciones controladas. Otros tests son individuales y complejos como los tests multiarticulares, ya que su resultado depende de numerosos factores difícilmente controlables.
- La valoración de la movilidad articular se puede realizar mediante medición indirecta, a través de la medida lineal de distancias entre segmentos corporales o desde un objeto externo a un segmento corporal, o mediante la medición directa de los grados de amplitud con distintas técnicas e instrumentos como goniómetro, flexómetro, electrogoniómetro, higrómetro, radiografía, fotografía, cinematografía, inclinómetro y seguimiento de contornos.
- En términos generales, los métodos directos son los recomendados porque el resultado de la medición no está afectado por las proporciones de los segmentos corporales. Las técnicas e instrumentos utilizados dependen del objetivo de la medición, siendo los más utilizados en el ámbito deportivo el goniómetro, el flexómetro y la cinematografía aplicada a los análisis biomecánicos.
- Los métodos indirectos son fáciles de aplicar y presentan habitualmente fiabilidad y objetividad elevadas, pero su validez es dudosa, generando además muchos problemas de interpretación de los resultados asociados a factores antropométricos y a conocer lo que realmente se está midiendo, especialmente en los tests multiarticulares. Para evitar algunos de estos problemas, se utilizan índices que permiten expresar la medida lineal en relación con parámetros antropométricos y se desaconsejan para la comparación entre sujetos.
- Para la comparación entre sujetos de algunos de los tests indirectos para valorar la movilidad articular, es efectiva la utilización del método corrector utilizando el compás flexométrico o del índice flexométrico sin necesidad del compás.

Cuestionario de asimilación

1. Explica las diferencias que existen entre valorar la amplitud del movimiento articular mediante una medida lineal o mediante grados.
2. Indica los principales instrumentos que se han desarrollado para la valoración directa de la movilidad articular.
3. Define las diferencias entre un test de valoración de la movilidad articular uniarticular y multiarticular.
4. Establece las principales limitaciones que tiene la valoración indirecta de la movilidad articular mediante un test multiarticular.
5. Define los criterios de fiabilidad, objetividad y validez que tienen habitualmente los tests que determinan una valoración indirecta de la movilidad articular.
6. Señala las principales dificultades de valorar la amplitud del movimiento articular con un goniómetro.
7. Explica las ventajas de utilizar un flexómetro Leighton respecto a un goniómetro y un electrogoniómetro para medir la amplitud del movimiento articular.
8. Establece la relación entre la valoración cinematográfica de la movilidad articular y la biomecánica deportiva.
9. Define la relación entre la valoración de la movilidad articular y la readaptación de lesiones.
10. Establece para qué situaciones específicas se utiliza un inclinómetro para la valoración de la amplitud del movimiento articular.
11. Indica qué es y para qué se utiliza el compás flexométrico.
12. Señala las aplicaciones del índice flexométrico.

Bibliografía

- Abramson D, Roberts SM, Wilson PD. Relaxation of the pelvic joints in pregnancy. *Surg Gynecol* 1934;58:595-613.
- Ahlberg A, Moussa M, Al-Nahdi M. On geographical variations in the normal range of joint motion. *Clin Orthop Relat Res* 1988;234:229-31.
- Allerheiligen WB. Exercise techniques: stretching and warm-up. En: Baechle TR. *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics, 1994,289-313.
- Alter MJ. *Science of flexibility*. Human Kinetics, 1996. Alter MJ. *Los estiramientos*. Paidotribo,

1990.

- Alter MJ. *The science of stretching*. Human Kinetics, 1988.
- American Academy of Orthopedic Surgeons. *Joint motion. Method of measuring and recording*. American Academy of Orthopedic Surgeons, 1965.
- Anderson B, Burke ER. Scientific, medical, and practical aspects of stretching. *Clin Sports Med* 1991;10:63-86.
- Arnheim DD, Prentice WE. *Principles of athletic training*. Mosby, 1993.
- Balaftsalis H. Knee joint laxity contributing to footballers' injuries. *Physioter Sport* 1982;5:26-7.
- Baldwin J, Cunningham K. Goniometry under attack: a clinical study involving physiotherapists. *Physiother Can* 1974;26:74-6.
- Bandy WD, Iron JM, Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of hamstring muscles. *Phys Ther* 1997;77:1090-6.
- Bandy WD, Iron JM. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther* 1994;74:845-50.
- Barbosa AR, Santarém JM, Filho WJ et al. Effects of Resistance Training on the Sit-and-Reach Test in Elderly Women. *J Strength Cond Res* 2002;16:14-8.
- Barrow HM, McGee R. *A practical approach to measurement in physical education*. Lea i Febiger, 1979.
- Basas A, Fernández C, Martín JA. *Tratamiento fisioterápico de la rodilla*. McGraw Hill, 2003.
- Basas A. Metodología de la electroestimulación en el deporte. *Fisioterapia* 2001;23:36-47.
- Basas A. Electroestimulación dinámica en el deporte. *Fisioterapia* 1997;19:53-9.
- Basmajian JV. Motor learning and control. *Arch Phys Med Rehabil* 1975;58:38-41.
- Baumgartner TA, Jackson AS. *Measurement for evaluation in physical education*. William C. Brown, 1982.
- Beaulieu JE. *Stretching for all sports*. Athletic Press, 1986.
- Beaulieu JE. Developing a stretching program. *Phys Sportsmed* 1981;9:59-69.
- Bender J, Shea EJ. *Physical fitness: Tests and exercises*. Ronald Press, 1964.
- Berne RM, Levy MN. *Physiology*. Mosby, 1988.
- Biering-Sørensen F. Physical measurements as risk indicators for low back trouble over a one year period. *Spine* 1984;9:106-9.
- Bird HA, Calguneri M, Wright V. Changes in joint laxity occurring during pregnancy. *Ann Rheum Dis* 1981;41:126-8.
- Bloom W, Fawcett DW. *A textbook of histology*. W.B. Saunders, 1975.
- Bohannon RW. Effect of repeated eight-minute muscle loading on the angle of straight-leg raising. *Phys Ther* 1984;64:491-7.
- Bompa T. *Periodización del entrenamiento deportivo*. Paidotribo, 2000.
- Bompa T. *Theory and Metodology of Training*. Derrick Jones, 1983.
- Boone DC, Azen SP, Lin CM et al. Reliability of goniometric measurements. *Phys Ther* 1978;58:1355-90.
- Borms J, Van Roy P. Flexibility. En: Eston R, Reilly T. *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: tests, procedures and data*. Routledge, 2001.
- Borms J. Importance of flexibility in overall physical fitness. *Int J Phys Educ* 1984;21:15-26.
- Bosco C, Tihanyi J, Komi PV et al. Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol Scan* 1982;116:343-9.
- Branta C, Hauberstriecker J, Seefeldt V. Age changes in motor skills during childhood and adolescence. *Exerc Sport Sci Rev* 1984;12:467-88.
- Brichs A, Hurtado F, Puig J. *Curs de matemàtiques III*. Serpa, 1979.
- Bridger RS, Orkin D, Henneberg M. A quantitative investigation of lumbar and pelvic postures in standing and sitting: Interrelationships with body position and hip muscle length. *Int J Ind Ergon* 1992;9:235-44.

- Broer MR, Galles NRG. Importance of relationship between various body measurements in performance of the toe-touch test. *Res Q* 1958;29:253-63.
- Bryant S. Flexibility and stretching. *Phys Sportsmed* 1984;12:171.
- Brewer V, Hinson M. Relationship of pregnancy to lateral knee stability. *Med Sci Sports* 1978;10:39.
- Burkett LN. Cause and prevention of hamstring pulls. *Athletic Journal* 1971;51:34.
- Cardinali D. *Manual de Neurofisiología*. Díaz de Santos, 1992.
- Carlstedt CA, Nordin M. *Biomechanics of tendons and ligaments*. Lea & Febiger, 1989.
- Cambone P. *Stretching*. Società Stampa Sportiva, 1990.
- Chapman AE, deVries H, Swezey R. Joint stiffness: effects of exercise on young and old men. *J Gerontol* 1972;27:218-21.
- Cherry DB. Review of physical therapy alternatives for reducing muscle contracture. *Phys Ther* 1980;60:877-81.
- Cianti G. *Stretching*. Sonzogno, 1990.
- Clarke HH. *Application of Measurement to health and Physical Education*. Prentice Hall, 1976.
- Clarke HH. Joint and body range of movement. *Phys Fitness Sports Res Digest* 1975;5:1-23.
- Clayson SJ, Mundale MD, Kotte FJ. Goniometer adaptation for measuring hip extension. *Arch Phys Med Rehabil* 1966;47:255-61.
- Corbin CB, Noble L. Flexibility: A major component of physical fitness. *J Phys Educ Recreat Dance* 1980;51:23-24-57-60.
- Corbin CB. *A textbook of motor development*. William C. Brown, 1973.
- Cornelius WL, Ebrahim K, Watson J et al. The effects of cold application and modified PNF stretching techniques on hip joint flexibility in college males. *Res Q Exerc Sport* 1992;63:311-4.
- Cornelius WL, Hagemann RW. Jr., Jackson AW. A study on placement of stretching within a workout. *J Sports Med Phys Fitness* 1988;28:234-6.
- Cornelius WL. Stretch evoked EMG activity by isometric contraction and submaximal concentric contraction. *Athl Train* 1983;18:106-9.
- Cornelius WL, Hinson MM. The relationship between isometric contractions of hip extensors and subsequent flexibility in males. *J Sports Med Phys Fitness* 1980;20:75-80.
- Cornwell A, Nelson AG, Heise GD et al. Acute effects of passive muscle stretching on vertical jump performance. *J Hum Mov Stud* 2001;40:307-24.
- Cotten D, Waters J. Immediate effect of four types of warm-up activities upon static flexibility of four selected joints. *Am Correct Ther J* 1970;24:133-6.
- Couch J. *Runners world yoga book*. World Publications, 1982.
- Coville CA. Relaxation in physical education curricula. *Phys Educ* 1979;36:176-81.
- Cureton TK. Flexibility as an aspect of physical fitness. *Res Q* 1941;12:381-3.
- Dangerfield PH. Asymmetry and growth. En: Ulijaszek SJ, Mascie-Taylor CGN. *Anthropometry: the individual and the population*. Cambridge University Press, 1994.
- Dangerfield PH, Denton JC, Barnes SB et al. The assessment of the rib-cage and spinal deformity in scoliosis. En: Stokes IAF, Pekelsky JR, Moreland MS. *Proceedings of the 4th International Symposium on Moiré Fringe Topography and Spinal Deformity*. Gustav Fischer Verlag, 1987.
- Davies A, Finaly K, Hilly M et al. *A comparison of the effect of static and ballistic stretching on hamstring strength*. Proceedings from the Annual Scientific Conference in Sports Medicine. Australian Sports Medicine Federation, 1992.
- DeVries HA, Wiswell RA, Bulbulion R et al. Tranquilizer effect of exercise. *Am J Phys Med* 1981;60:57-66.
- DeVries HA. *Physiology of exercise*. William C. Brown, 1980.
- DeVries HA. Physical fitness programs: Does physical activity promote relaxation? *J Phys*

- Educ Recreat Dance* 1975;46:52-3.
- DeVries HA. *Physiology of Exercise*. William C. Brown, 1974.
- DeVries HA. Quantitative electromyographic investigation of the spasm theory of muscle pain. *Am J Phys Med* 1966;45:119-34.
- DeVries HA. Evaluation of static stretching procedures for improvement of Flexibility. *Res Q* 1961;33:222-9.
- Dick FW. *Principios del entrenamiento deportivo*. Paidotribo, 1993.
- Dick FW. *Sports training principles*. Lepus Books, 1980.
- Dickenson RV. The specificity of flexibility. *Res Q* 1968;39:792-4.
- Di Nicci J. Gross motor performance: a comprehensive analysis of age and sex differences between boys and girl aged six to nine years. En: Broekhoft J. *Physical Education, Sports, and the Sciences*. Microform Publishers, 1976.
- Docherty D, Bell R. The relationship between flexibility linearity measures in boys and girls 6-15 years of age. *J Hum Mov Stud* 1985;11:279-88.
- Doherty K. *Track and field omnibook*. Tafmop Publishers, 1971.
- Einkauf DK, Gohdes ML, Jensen GM et al. Changes in spinal mobility with increasing age in women. *Phys Ther* 1987;67:370-5.
- Ekstrand J, Gillquist J. The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. *Am J Sports Med* 1982;10:75-8
- Ekstrand J, Wiktorsson M, Oberg B et al. Lower extremity goniometric measurements: A study to determine their reliability. *Arch Phys Med Rehabil* 1982;63:171-5.
- Eldren HR. Physical properties of collagen fibers. En: Hull DA. *International review of connective tissue research*. Academic Press, 1968.
- Enwemeka CS. Radiographic verification of knee goniometry. *Scan J Rehabil Med* 1986;18:47-9. Esnault M, Viel E. *Stretching. Estiramientos de las cadenas musculares*. Masson, 2003.
- Esnault M. *Football et stretching*. Chiron, 1986. Etnyre BR, Lee EJ. Chronic and acute flexibility of men and women using three different stretching techniques. *Res Q Exerc Sport* 1988;59:222-8.
- Etnyre BR, Abraham LD. Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *Am J Phys Med* 1986;65:189-96.
- Fahey TD, Harvey M, Schroeder RV et al. Influence of sex differences and knee joint position on electrical stimulation-modulated strength increases. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:144-7.
- Fenn WO, Marsh BS. Muscular forces at different speeds of shortening. *J Physiol* 1935;85:277-97.
- Fieldman H. Effects of selected extensibility exercises on the flexibility of the hip joint. *Res Q* 1967;37:326-31.
- Fleischman EA. *The structure and measurement of physical ritness*. Prentice-Hall, 1964.
- Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physiol* 2000;89:1179-88.
- Fox EL, Bowers RW, Foss ML. *The physiological basis of physical education and athletics*. William C. Brown, 1989.
- Fox RF, van Breeman J. *Chronic rheumatism, causation, and treatment*. Churchill Livingstone, 1934.
- Fox RF. Demostration of the menstruation apparatus in use at the Red Cross Clinic for the physical treatment of Officers. *Proc R Soc Med* 1917;10:63-9.
- Gajdosik RL, Vander Linden DW, Williams AK. Influence of age on length and passive elastic stiffness characteristics of the calf muscle-tendon unit of women. *Phys Ther* 1999;79:827-38.

- Gajdosik RL. Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther* 1991;14:250-5.
- García Manso JM, Navarro M, Caballero JA. *Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte*. Gymnos, 1996.
- Garret WE, Speer KP, Kirkendall DT. *Orthopaedic sports medicine*. Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- Génot C, Neiger H, Leroy A et al. *Kinesioterapia*. Tomo I. Médica Panamericana, 1988.
- Gerhardt J, Russe O. *International SFTR method of measuring and recording joint motion*. Hans Huber Publishers, 1975.
- Gomez TG, Beach G, Cooke C et al. Normative database for trunk range of motion, strength, velocity, and endurance with the isostation B.200 lumbar dynamometer. *Spine* 1991;16:15-21.
- Gosline JM. The physical properties of elastic tissue. En: Hull DA, Jackson DS. *International review of connective tissue research*. Academic Press, 1976.
- Granit R. Muscle tone and postural regulation. En: Rodahl K, Horvath SM. *Muscle as tissue*. McGraw Hill, 1962.
- Greipp JF. Swimmer's shoulder: The influence of flexibility and weight training. *Phys Sportsmed* 1985;13:92-105.
- Greipp JF. The assessment of shoulder flexibility. *Pennsylvania J Health Phys Educ Recreat* 1982;Fall:19-20.
- Grobaker M, Stull G. Thermal applications as a determiner of joint flexibility. *Am Correct Ther J* 1975;29:3-8.
- Grosser M. *Die zweckgymnastik des leichtathlete*. Schorndorf, 1976.
- Güllich A, Schmidbleicher D. Methodik des krafttrainings. En: Sievers M. *Muskelkrafttraining* (Bd 1). Kiel 2000;17-71.
- Halbertsma JPK, Mulder I, Goeken LNH et al. Repeated passive stretching: acute effect on the passive muscle moment and extensibility of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil* 1999;80:407-14.
- Halbertsma JPK, Goeken LNH. Stretching exercises: Effect on passive extensibility and stiffness in short hamstring in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 1994;75:976-81.
- Hardy L, Jones D. Dynamic flexibility and proprioceptive neuromuscular facilitation. *Res Q Exerc Sport* 1986;57:150-3.
- Harris ML. Flexibility. *Phys Ther* 1969;49:591-601.
- Harris ML. A factor analytic study of flexibility. *Res Q* 1967;40:62-70.
- Hartley-O'Brien SJ. Six mobilization exercises for active range of hip flexion. *Res Q Exerc Sport* 1980;51:625-35.
- Harvey D, Mansfield C. Measuring flexibility for performance and injury prevention. En: Gore CJ. *Physiological testing for elite athletes*. Human Kinetics, 2000.
- Hastad DN, Lacy AC. *Measurement and evaluation in contemporary physical education*. Scottsdale: AZ Gorsuch Scarisbrick Publishers, 1989.
- Hatfield FC. Learning to stretch for strength and safety. *Muscle Fitness* 1982;43:24-5, 193-4.
- Helsing E, Reigo T, McWilliam J et al. Cervical and lumbar lordosis and thoracic Kyphosis in 8,11 and 15-years-old children. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 1987;9:129-30.
- Henricson AS, Frederiksson K, Persson I et al. The effect of heat and stretching on the range of hip motion. *J Orthop Sports Phys Ther* 1984;6:110-5.
- Herzog W, Gál J. Tendon. En: Nigg BM, Herzog W. *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. J. Wiley and sons Ltd, 1999:127-47.
- Heyward V. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. *Human Kinetics* 1991.
- Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine* 2001;26:243-8.

- High DM, Howley ET, Franks BD. The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed onset muscle soreness. *Res Q* 1989;60:357-61.
- Hill AV. The heat produced by a muscle after the last shock of tetanus. *J Physiol* 1961;159:518-45.
- Hill AV. The series elastic component of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1950;137:273-80.
- Hoaglund FT, Yau AC, Wong WL. Osteoarthritis of the hip and other joints in southern Chinese in Hong Kong. *J Bone Joint Surg Am* 1973;55:545-57.
- Hoeger WK. *The complete guide for the development and implementation of health promotion programs*. Morton Publishing Co, 1987.
- Hoeger WK. *Lifetime physical fitness and wellness*. Morton Publishing Co, 1986.
- Holland GJ. The physiology of flexibility: A review of the literature. *Kinesiology Review* 1968;1:49-62.
- Holt LE, Smith R. The effect of selected stretching programs on active and passive flexibility. En: Terauds J. *Biomechanics in Sports: Proceedings of the International Symposium in Biomechanics in Sports*. Del Mar CA, 1983.
- Holt LE, Travis TM, Okita T. Comparative study of three stretching techniques. *Percept Mot Skills* 1970;31:611-6.
- Horowitz R, Kempner ES, Hisher ME et al. A physiological role for titin and nebulin in skeletal muscle. *Nature* 1986;323:160-4.
- Hubley C. Évaluation de la souplesse. En: Duncan J, Wenger H, Green H. *Évaluation physiologique de l'athlète de haut niveau*. Décaire, 1988.
- Hubley CL, Kozey JW. Testing flexibility. En: MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. *Physiological testing of the high-performance athlete*. Human Kinetics, 1991.
- Hubley CL, Kozey JW, Stanish WD. The effects of static stretching exercises and stationary cycling on range of motion at the hip joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 1984;6:104-9.
- Hupprich F, Sigerseth PO. Specificity of flexibility in girls. *Res Q* 1950;21:25-33.
- Hurtoñ V. La flexibilidad y su lugar en la preparación de atletas. *Trener* 1971;15:266-8. Traducción Departamento de Documentación del INEF de Madrid. *Novedades del entrenamiento* 1972;6:5561.
- Hutinger P. How flexible are you? *Aquatic World Magazine* 1974:Jan.
- Iashvili AV. Active and passive flexibility in athletes specializing in different sports. *Sov Sports Rev* 1982;18:30-2.
- Imrie D, Barbuto L. The back-power program. *Stoddart* 1988.
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 1994;12:561-6.
- Jackson A, Baker A. The relationship of the Sit-and-Reach test to criterion measures of hamstring and back flexibility in young females. *Res Q Exerc Sport* 1986;57:183-6.
- Jackson AW, Langford NJ. The criterion-related validity of the Sit-and-Reach test: Replication and extension of previous findings. *Res Q Exerc Sport* 1989;60:384-7.
- Jensen C, Hirst C. *Measurement in physical education and athletics*. Macmillan, 1980.
- Jensen C, Fisher G. *Scientific basis of athletic conditioning*. Lea y Febiger, 1979.
- Jenkins R, Little RW. A constitutive equation for parallel fibered elastic tissue. *J Biomech* 1974;7:397-402.
- Johns RJ, Wright V. Relative importance of various tissues in joint stiffness. *J Appl Physiol* 1962;17:824-8.
- Johnson A, Langford N. The criterion-related validity of the sit and reach test: Replication and extension of previous findings. *Res Q Exerc Sport* 1989;60:384-7.
- Johnson A, Baker A. The relationship of the sit and reach test to criterion measures of hamstring and back flexibility in young females. *Res Q Exerc Sport* 1986;57:183-6.

- Johnson BL. *Practical flexibility measurement with the flexomeasure*. Brown and Littleman Company, 1978.
- Johnson BL. *Flexibility assessment*. En: Blair SN. SDAAH-PER proceedings 1978.
- Johnson BL, Nelson JK. *Practical measurements for evaluation in physical education*. Burgess, 1986.
- Jones A. Flexibility and metabolic condition. *Athletic Journal* 1975;56:80-1.
- Jones M, Buis J, Harris D. Relationships of race and sex to physical and motor measures. *Percept Mot Skills* 1986;63:169-70.
- Kapandji IA. *Cuadernos de fisiología articular*. Vol. 2. Miembro inferior. Masson, 1993.
- Kapandji IA. *Cuadernos de fisiología articular*. Vol. 3. Tronco y raquis. Masson, 1993.
- Karpovich PV, Sinning WE. *Physiology of muscular activity*. W.B. Saunders 1971.
- Karpovich PV, Karpovich GP. Electrogoniometer: A new device for study of joints in action. *Fdn Proc* 1959;18:79.
- Kendall HO, Kendall FP, Wadsworth G. *Muscle testing and function*. Williams & Wilkins, 1971.
- Kendall FP, McCreary EK. *Muscles testing and function*. Williams & Wilkins, 1983.
- Kinser AM, Ramsey MW, O'Bryant HS et al. Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:133-40.
- Kirby R. *Kirby's guide to fitness and motor performance*. Benoak Publishing Company, 1991.
- Kirby RL, Simms FC, Symington VJ et al. Flexibility and musculoskeletal symptomatology in female gymnasts and age-matched controls. *Am J Sports Med* 1981;9:160-4.
- Kirchner G, Glines D. Comparative analysis of Eugene, Oregon elementary school children using the Kraus-Weber Test of Minimum Muscular Endurance. *Res Q* 1957;28:16-25.
- Kirkendall DR, Gruber JJ, Johnson RE. *Measurement and evaluation for physical educators*. Human Kinetics, 1987.
- Klein KK. The deep squat exercise as utilized in weight training for athletics and its effect on the ligaments of the knee. *J Assoc Phys Ment Rehabil* 1961;15:611.
- Kligman E, Pepin E. Prescribing physical activity for older patients. *Geriatrics* 1992;47:33-47.
- Knebel KP. *Funktionsgymnastik*. Rowolth, 1985.
- Knott M, Voss DE. *Proprioceptive neuromuscular facilitation*. Harper and Row, 1968.
- Kokkonen J, Nelson AG, Cornwell A. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport* 1998;69:411-5.
- Komi PV. Elastic potentiation of muscle and its influence on sport performance. En: Baumann W. *Biomechanics and performance in sport*. Verlag Karl Hofman, 1983.
- Kottke FJ, Mundale MO. Range of mobility of the cervical spine. *Arch Phys Med Rehabil* 1959;40:379-82.
- Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 2002;92:595-601.
- Kuhlman KA. Cervical range of motion in the elderly. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:1071-9.
- Künnemeyer J, Schmidtbleicher D. Die neuromuskuläre stimulation RNS. *Leistungssport* 1977;2:39-42
- Laban MM. Collagen tissue: Implications of its response to stress in vitro. *Arch Phys Med Rehabil* 1962;43:461-5.
- Leger L, Cantin F. Equivalences between the Wells and Dillon and the Cureton hip flexion tests. *J Can Assoc Health Phys Educ Recreation* 1983;50:10-2.
- Leighton JR. *Fitness. Desarrollo corporal y preparación física deportiva por medio del entrenamiento con pesas*. Paidotribo, 1993.
- Leighton JR. The leighton flexometer and flexibility test. *Arch Phys Med Rehabil* 1966;20:86-93.
- Leighton JR. Flexibility characteristics of three specialized skill groups of champion athletes. *Arch Phys Med Rehabil* 1957;38:580-3.
- Leighton JR. Flexibility characteristics of four specialized skill groups of college athletes. *Arch*

- Phys Med Rehabil* 1957;38:24-8.
- Leighton JR. Flexibility characteristics of males ten to eighteen years of age. *Arch Phys Med Rehabil* 1956;37:494-9.
- Leighton JR. An instrument and technique for the measurement and range of joint movement. *Arch Phys Med Rehabil* 1955;36:24-8.
- Leighton JR. A simple objective, and reliable measure of flexibility. *Res Q* 1942;13:205-16.
- Lentell G, Hetherington T, Eagan J et al. The use of thermal agents to influence the effectiveness of a lowload prolonged stretch. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992;16:200-7.
- Levaret-Joye H. Relaxation and motor capacity. *J Sports Med Phys Fitness* 1979;19:151-6.
- Liemohn W, Pariser G. *Flexibility range of motion, and low back function*. McGraw Hill, 2001.
- Light KE, Nuzik S, Personius W et al. Low-load prolonged stretch vs. high-load brief stretch in treating knee contractures. *Phys Ther* 1984;64:330-3.
- Logan GA, Egstrom GH. Effects of slow and fast stretching on the sarco-femoral angle. *J Assoc Phys Ment Rehabil* 1961;15:86-9.
- Lucas R, Koslow R. Comparative study of static dynamic and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques on flexibility. *Percept Mot Skills* 1984;58:615-8.
- MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. *Evaluación fisiológica del deportista*. Paidotribo, 1995.
- MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. *Physiological testing of the high-performance athlete*. Human Kinetics, 1991.
- Macrea IF, Wright V. Measurement of back movement. *Ann Rheum Dis* 1969;28:584-9.
- McGill S. *Low back disorders*. Human Kinetics, 2002. Madding SW, Wong JG, Hallum A, et al. Effect of duration of passive stretch on hip abduction range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther* 1987;8:409-16.
- Magid A, Law DJ. Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle. *Science* 1985;230:1280-2.
- Magnusson SP, Aagaard P, Nielson JJ. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1160-4.
- Magnusson SP, Simonsen EB, Agarrad P et al. Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77:373-8.
- Markos PD. Ipsilateral and contralateral effects of proprioceptive neuromuscular facilitation technique on hip motion and electromyographic activity. *Phys Ther* 1979;59:1366-73.
- Mathhews DK, Shaw V, Woods JW. Hip flexibility of elementary school boys as related to body segments. *Res Q* 1959;31:297-302.
- Mathhews DK, Shaw V, Bohnen M. Hip flexibility of college women as related to body segments. *Res Q* 1957;28:352-6.
- MacAtee RE. *Facilitated stretching*. Human Kinetics, 1993.
- Meadows JT. *Diagnóstico diferencial en fisioterapia*. McGraw-Hill, 2000.
- Miller P. Assessment of joint motion. En: Rothstein J. *Measurement in physical therapy*. Churchill Livingstone, 1985.
- Minns R, Soden P, Jackson D. The role of the fibrous components and ground substance in the mechanical properties of biological tissues. *J Biomech* 1973;6:153-65.
- Moll JM, Wright V. Normal range of spinal mobility: An objective clinical study. *Ann Rheum Dis* 1971;30:381-6.
- Montoye HJ. *An introduction to measurement in physical education*. Allyn and Bacon, 1978.
- Moore MA, Hutton RS. Electromyographic investigation of muscle techniques. *Med Sci Sports Exerc* 1980;12:322-9.
- Moore ML. *Clinical assessment of joint motion. Therapeutic exercise*. Williams & Wilkins, 1978.

- Moras G. *Amplitud de moviment articular i la seva valoració: el Test Flexomètric*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, 2003.
- Moras G, Torres S. El flexómetro: nuevo test para medir la flexibilidad. *RED* 1989;3:14-20.
- Moretz JA, Walters R, Smith L. Flexibility as a predictor of knee injuries in college football players. *Phys Sportsmed* 1982;10:93-7.
- Morgan WP, Horstram DH. Anxiety reduction following acute physical activity. *Med Sci Sports* 1976;8:62.
- Morrow Jr. J.R, Jackson AW, Disch JG *et al.* *Measurement and evaluation in human performance*. Human Kinetics, 1995.
- Morse CI, Degens H, Seynnes OR *et al.* The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol* 2008;586:97-106.
- Munroe RA, Romance TJ. Use of the Leighton flexometer in the development of a short flexibility test battery. *Am Correct Ther J* 1975;29:22-5.
- Nachemson A. Newest knowledge of low back pain: A critical look. *Clin Orthop Relat Res* 1992;279:8-20.
- Nelson JK, Johnson BL, Smith GC. Physical characteristics, hip flexibility and arm strength of female gymnasts classified by intensity of training across age. *J Sports Med Phys Fitness* 1983;23:95-100.
- Nicholas JA. Injuries to knee ligaments: Relationship to looseness and tightness in football players. *JAMA* 1970;212:2236-9.
- Nicol AC. A new flexible electrogoniometer with widespread applications. En: Johnson B. *Biomechanics X-B*. Human Kinetics, 1987:1029-33.
- Norkin CC, White DJ. *Measurement of joint motion. A guide to goniometry*. F.A. Davis Company, 1995.
- Norris CH. *La flexibilidad. Principios y práctica*. Paidotribo, 1996.
- Ohlen G, Sprangfort E, Tingwell C. Measurement of spinal sagittal configuration and mobility with Debrunner's Kyphometer. *Spine* 1989;14:580-3.
- Ostering LR, Robertson RN, Troxel RK *et al.* Differential responses to proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretch techniques. *Med Sci Sports Exer* 1990;22:106-11.
- Ostering LR, Robertson RN, Troxel R *et al.* Muscle activation during proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching techniques. *Am J Phys Med* 1987;66:298-307.
- Ozolin N. *Sovremennaja sistema sportivnoi trenirovki*. Fizkultura sport, 1971.
- Pérez Lugo J. Estiramientos con electroestimulación. *Fisioterapia* 1994;16:35-41.
- Pérez Machado JL, Álamo Arce DD. Estudio comparativo entre los estiramientos musculares mediante tensión activa y electroestimulación. *Fisioterapia* 2001;23:10-4.
- Pizza F, Koh TJ, McGregor SJ *et al.* Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *J Appl Physiol* 2002;92:1873-8.
- Phillips M, Bookwaltes C, Dennon C *et al.* Analysis of results from the Kraus-Weber Test of minimum muscular fitness in children. *Res Q* 1955;26:314-23.
- Platonov VN. *Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico*. Paidotribo, 2001.
- Platonov VN. *El entrenamiento deportivo: Teoría y metodología*. Paidotribo, 1988.
- Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD *et al.* A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:271-7.
- Porta J. Las capacidades físicas básicas. En: *Programas y contenidos de la educación físico-deportiva en BUP y FP*. Paidotribo, 1988.
- Prentice WE. *Técnicas de rehabilitación en la medicina deportiva*. Paidotribo, 1997.
- Prentice WE. A comparison of static stretching and PNF stretching for improving hip joint flexibility. *Athl Train* 1983;18:56-9.
- Raab DM, Agre JC, McAdam M *et al.* Light resistance and stretching exercise in elderly women: Effect upon flexibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1988;69:268-72.

- Rack PMH, Westbury DR. The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. *J Physiol* 1974;240:331-50.
- Ramón y Cajal S. *Reglas y consejos sobre investigación científica*. Espase Calpe, 2008.
- Rasch P. *Kinesiology and applied anatomy*. Lea & Febiger, 1989.
- Reese NB, Bandy WD. *Joint range of motion and muscle length testing*. W.B. Saunders Company, 2002.
- Resch S, Ryd L, Stenström A et al. Measuring hallux valgus: a comparison of conventional radiographic and clinical parameters with regard to measurements accuracy. *Foot Ankle Int* 1995;16:267-70.
- Rigby B. The effect of mechanical extension under the thermal stability of collagen. *Biochim Biophys Acta* 1964;79 (SC 43008):634-6.
- Roaas A, Anderson G. Normal range of motion of the hip, knee and ankle joints in male subjects 30-40 years of age. *Acta Orthop Scand* 1982;53:205-8.
- Rodas G, Moras G, Estruch A, Ventura LL. Heretabilitat de la flexibilitat: un estudi fet amb germans bessons. *Apunts. Medicina de l'esport* 1997;128:21-7.
- Romero JA, Sanford TL, Schroeder RV, et al. The effects of electrical stimulation of normal quadriceps on strength and girth. *Med Sci Sports Exer* 1982;14:194-7.
- Rothemberg B, Rothemberg O. *Touch training for strength*. Human Kinetics, 1995.
- Saal JA, Saal JS. Nonoperative treatment of herniated lumbar intervertebral disc with radiculopathy: An outcome study. *Spine* 1989;14:431-7.
- Sady SP, Wortman M, Blanke D. Flexibility training: Ballistic, static or proprioceptive neuromuscular facilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 1982;63:261-3.
- Salisbury PJ, Porter RW. Measurement of lumbar sagittal mobility: comparison of methods. *Spine* 1987;12:190-3.
- Santonja F, Frutos DE. Síndrome de isquiosurales cortos. Proyección radiográfica. *Rol de Enfermería* 1994;190:59-63.
- Santoja F, Martínez I. *Valoración médico-deportiva del escolar*. Universidad de Murcia, 1992.
- Sapega AA, Quedenfeld TC, Moyer RA et al. Biophysical factors in range-of-motion- exercise. *Phys Sportsmed* 1981;9:57-65.
- Schenker AW. Goniometry; an improved method of joint motion measurement. *N Y State J Med* 1956;56:539-45.
- Schober P. The lumbar vertebral column in backache. *Munch Med Wochenschr* 1937;84:336-8.
- Schultz P. Flexibility: Day of the static stretch. *Phys Sportsmed* 1979;7:109-17.
- Scott MG, French E. *Measurement and evaluation in physical education*. William C. Brown, 1959. Sermeev BV. Development of mobility in the hip joint in sportsmen. *Yessis Review* 1966;2:16-7.
- Sherrington C. *The integrative action of the nervous system*. Yale University Press, 1947.
- Shrier I. Does stretching help prevent injuries. En: MacAuley D, Best T. *Evidence-based sports medicine*. BMJ Books, 2002.
- Shrier I, Gossal K. Myths and truths of stretching. Individualized recommendations for healthy muscles. *Phys Sportsmed* 2000;28:57-63.
- Siff MC, Verkhoshansky YV. *Supertraining. Special strength for sporting excellence*. Sports Training, 1996.
- Sigerseth PC. En: Larson LA. *Encyclopedia of Sport Sciencies and Medicine*. MacMillan, 1971.
- Sigerseth PO, Heliski C. The flexibility of football players. *Res Q* 1950;21:394-8.
- Sime WE. A comparison of exercise and meditation in reducing physiological response to stress. *Med Sci Sports* 1977;9:55.
- Sinkjaer T, Toft E, Andreassen S, et al. Muscle stiffness in human ankle dorsiflexors: intrinsic

and reflex components. *J Neurophysiol* 1988;60:1110-21.

Snell R. *Neuroanatomía clínica*. Panamericana, 1999.

Speakman HGB, Kung JS. The flexometer. *Physiother Can* 1978;30:21-3.

Spring H, Illi U, Kunz H-R et al. *Stretching*. Hispano Europea, 1988.

Stamford B. Flexibility and stretching. *Phys Sportsmed* 1984;12:171.

Starring DT, Gossman MR, Nicholson GG et al. Comparison of cyclic and sustained passive stretching using a mechanical device to increase resting length of hamstring muscles. *Phys Ther* 1988;68:314-20.

Strojnik V. Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;72:144-9.

Sullivan PD, Markos PE, Minor MD. *An integrated approach to therapeutic exercise theory and clinical application*. Reston Publishing, 1982.

Surburg PR. Flexibility exercise reexamined. *Athl Train* 1983;18:37-40.

Taylor DC, Dalton JD, Seaber AV et al. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. *Am J Sports Med* 1990;18:300-9.

Tanigawa MC. Comparison of the hold-relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Phys Ther* 1972;52:725-35.

Terauds J. *Sports Biomechanics: Proceeding of the International Symposium of Biomechanics in Sport*. Academy Publishers, 1984.

Tesio L, Monzani M, Gatti R et al. Flexible electrogoniometers: Kinesiological advantages with respect to potentiometric goniometers. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1995;10:275-7.

Tidow G. Flexibilitätsübungen für Hürdensprinter. *Leichtathletiktraining* 1997;4:3-11.

Toft E, Espersen GT, Kalund S et al. Passive tension of the ankle before and after stretching. *Am J Sports Med* 1989;17:489-94.

Tous J. *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Ergo, 1999.

Trew M, Everett T. *Human Mouvement*. Churchill Livingstone, 2001.

Tribastone F. *Compendio de gimnasia correctiva*. Paidotribo, 1991.

Tumanyan GS, Dzhanlyan SM. Strength exercises as a means of improving active flexibility of wrestlers. *Sov Sports Rev* 1984;19:146-50.

Van Adrichem JAM, Van der Korst JK. Assessment of the flexibility of the lumbar spine: A pilot study in children and adolescents. *Scand J Rheumatol* 1973;2:87-91.

Van Roy P, Hebbelinck M, Borms J. Introduction d'un goniomètre standard modifié avec la graduation et la branche pivotante montées sur un chariot déplaçable. *Ann Kinesither* 1985;12:255-9.

Verducci FM. *Measurement concepts in physical education*. Mosby, 1980.

Verrill D, Pate R. Relationship between duration of static stretch in the sit and reach position and biceps femoris electromyographic activity. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:124.

Viel E, Ogishima H. *Reductions neuromusculaire a partir de la proprioception: Bases kinesiológicas*. Masson, 1977.

Voorrips L, Lemmink K, Van Heuvelon M et al. The physical condition of elderly women differing in habitual physical activity. *Med Sci Sports Exer* 1993;25:1152-7.

Walshe AD, Wilson GJ. The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can J Appl Physiol* 1997;22:117-32.

Walshe AD, Wilson GJ, Murphy AJ. The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur J Appl Physiol* 1996;73:332-9.

Walker SM. Delay of twitch relaxation induced by stress and stress relaxation. *J Appl Physiol* 1961;16:801-6.

Walther DS. *Applied kinesiology: Basic procedures and muscle testing*. Systems D.C, 1981.

Warren CG, Lehmann JF, Koblanski JN. Heat and stretch procedures: An evaluation using rat tail tendon. *Arch Phys Med Rehabil* 1976;57:122-6.

- Warren CG, Lehmann JF, Koblanski JN. Elongation of rat tail tendon: Effect of load and temperature. *Arch Phys Med Rehabil* 1971;52:465-74.
- Watkins J. Structure and function of the musculoskeletal system. *Human Kinetics* 1999.
- Wear CL. Relationship of flexibility measurements to length of body segments. *Res Q* 1963;34:234-8.
- Weineck J. *Entrenamiento óptimo*. Hispano Europea, 1988.
- Weiss L, Greer RO. *Histology*. McGraw-Hill, 1977. Wells K, Dillon E. The sit and reach: a test of back and leg flexibility. *Res Q* 1952;23:115-8.
- Wessling KC, DeVane DA, Hylton CR. Effects of static stretching versus static stretch and ultrasound combined on triceps surae muscle extensibility in healthy women. *Phys Ther* 1987;67:674-9.
- Wiemann K, Hahn K. Influences of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *Int J Sports Med* 1997;18:340-6.
- Wiemann K, Klee A. Muskeldehnung zur leistungsverbesserung im sprint. Unveröffentlichter forschungsbericht. *Bundesinstitut für Sportwissenschaft* 1992;5:80-4.
- Wiemann K, Klee A. Stretching e prestazioni sportive di alto livello. *Rivista di Cultura Sportiva/SDS* 2000;49:915.
- Wiktorsson-Moller M, Oberg B, Ekstrand J *et al*. Effects of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strenght in the lower extremity. *Am J Sports Med* 1983;11:249-52.
- Wilson GD, Stasch WH. Photographic record of joint motion. *Arch Phys Med* 1945;26:361-2.
- Wilson GJ, Elliot BC, Wood GA. Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:116-23.
- Wilson GJ. Stretch-shorten cycle: nature and implications for human muscle performance. *J Human Muscle Perform* 1991;1:11-31.
- Wilson GJ, Elliot BC, Wood GA. Performance benefits through flexibility training. *Sports Coach* 1991;4:710.
- Willimczik K. *Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft*. Grundkurs Datenerhebung, 1977.
- Wright V, Johns RJ. Physical factors concerned with the stiffness of normal and diseased joints. *Bull Johns Hopkins Hosp* 1960;106:215-31.
- Wydra G, Glück S. *Dynamisches Dehnen in der Sporttherapie?* Gesundheitssport und Sporttherapie 2000.
- Wydra G. Stretching, ein überblick über den aktuellen Stand der Forschung. *Sportwissenschaft* 1997;27:409-27.
- Wydra G, Bös K, Karisch G. Zur Effektivität verschiedener dehtechniken, Deutsche Zeitschrift für. *Sportmedizin* 1991;42:386-400.
- Young W, Elliott S. Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance. *Res Q Exerc Sport* 2001;72:273-9.
- Young WB, Jenner A, Griffiths K. Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J Strength Cond Res* 1998;12:82-4.
- Zankel HT. A new method of measurement of range of motion of joints. *Arch Phys Med* 1951;32:227-8.

capítulo 6

Optimización motriz e informacional

El capítulo 6 tiene como objetivo establecer una metodología del entrenamiento motor e informacional diferenciada en función de cómo se manifiestan estos factores en el contexto de competición de las distintas modalidades deportivas. Comenzamos en el apartado 1, *Neurofisiología de la motricidad*, analizando los fundamentos de la generación y el control del movimiento para sentar las bases para el desarrollo de estrategias adecuadas para el aprendizaje motor e informacional. El apartado 2, *Factores motores e informacionales en las distintas modalidades deportivas*, analiza cómo se manifiestan en los deportes los mecanismos de percepción, decisión y ejecución, justificando la diferenciación entre modalidades deportivas cerradas y abiertas. El apartado 3, *Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas cerradas*, aborda el entrenamiento motor e informacional en los deportes en los que las acciones motrices se ejecutan en un entorno estable, resaltando las aplicaciones que para el desarrollo de estos factores tiene el análisis biomecánico cualitativo y cuantitativo. Finalmente, en el apartado 4, *Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas abiertas*, se ofrece una nueva visión del entrenamiento motor e informacional en los deportes en los que las acciones motrices se ejecutan en un entorno variable, planteando un modelo de análisis y de trabajo contextualizado tomando como referencia el rendimiento en competición y estableciendo los criterios que determinan el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento motor e informacional.

Neurofisiología de la motricidad

Francisco Javier Calderón Montero, Pedro
José Benito Peinado, Ana Belén Peinado
Lozano, Víctor Díaz Molina

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las características básicas de los tres sistemas que intervienen en el movimiento: sistema de información, sistema de elaboración e integración de la información y sistema de ejecución.
- Comprender las funciones de los receptores musculares y extramusculares y de las diferentes estructuras del SNC en la programación, ejecución y control del movimiento.
- Comprender la importancia del entrenamiento motor e informacional para que los complejos movimientos deportivos puedan ejecutarse de manera semiautomática mediante la adquisición de nuevos programas motores.

Índice

1.1. Principios neurofisiológicos aplicados a la motricidad

El sistema de ejecución: características de las unidades motrices

El sistema de información: características de los receptores

– Características funcionales de los receptores musculares

– Características funcionales de los receptores extramusculares

El sistema de análisis y elaboración

– Médula espinal

– Tronco del encéfalo

– Corteza cerebral

– Estructuras de control del movimiento

1.2. Organización general del movimiento

Relaciones funcionales entre los centros superiores y la médula espinal

Planificación y control del movimiento

– Selección del programa o programas motores

– Control de la ejecución de un programa motor

Aplicaciones de la organización general del movimiento al aprendizaje de la técnica deportiva

- Técnicas deportivas: extensión de patrones motores normales
- Técnicas deportivas que modifican patrones normales de la postura
- ¿Cómo y dónde se percibe el movimiento?

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Los **patrones motores**, desde el punto de vista del control motor, pueden ser simples o complejos. Por ejemplo, la marcha atlética es una “exageración” de la marcha habitual en cualquier ser humano, mientras que la ejecución de un triple mortal en el salto de trampolín exige un control motor exquisito, que permite modificar los patrones reflejos motores. Esto significa que existen patrones motores **simples** (modelos de movimiento que los animales tienen incorporados en su genoma o que incorporan a lo largo de su vida) que se encuentran grabados en los programas motores (instrucciones grabadas en el SNC para desarrollar los patrones motores), pero que otros movimientos más **complejos** necesitan ser incorporados. También es necesario señalar que los movimientos simples como la marcha o la carrera necesitan un análisis minucioso de la técnica. De hecho, gran parte del entrenamiento de un velocista se dedica a mejorar la técnica de carrera, y de igual manera, aunque desde el punto de vista neurofisiológico el movimiento sea idéntico, la técnica de carrera de un fondista no es la misma que la de un velocista.

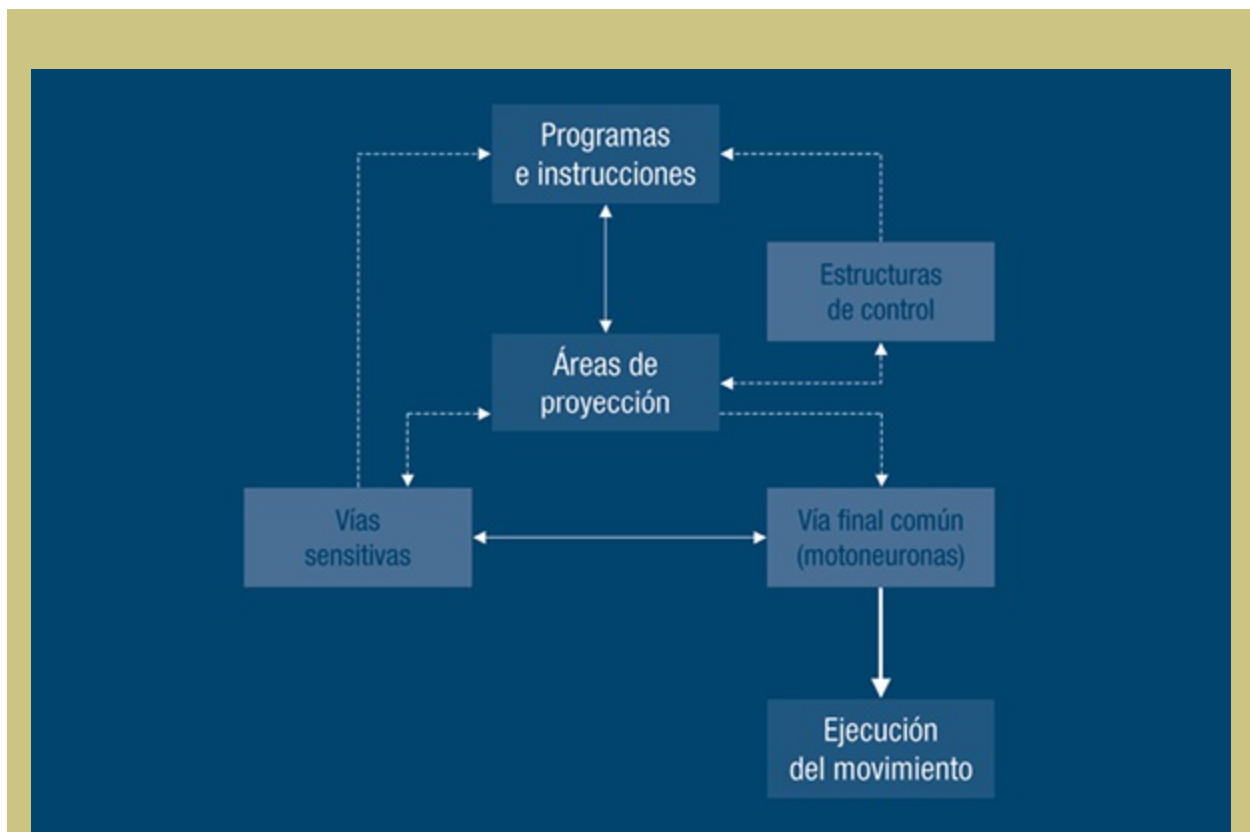


FIGURA 6.1. Organización de un acto motor.

Original de los autores.

En la figura 6.1 se muestra una idea general y simple de la organización de cualquier acto motor. Ya sean movimientos innatos o adquiridos, la secuencia de activación de los músculos se encuentra organizada según unos programas e instrucciones. Las estructuras nerviosas en las que se encuentran grabados estos programas se relacionan estrechamente con las áreas o centros nerviosos de donde parten las vías nerviosas que establecen relación con las motoneuronas de la médula espinal, siendo estas estructuras muy diversas. Por ejemplo, se ha demostrado que la secuencia de movimientos para la marcha se encuentra grabada desde el nacimiento en los circuitos espinales. Así, la razón por la que un bebé no puede caminar no es porque no existan los programas necesarios, sino por la falta de maduración de los centros correspondientes y sobre todo por la incapacidad para mantener la postura erecta. Como prueba de la existencia del programa motor para la marcha, se puede argumentar que antes de la adquisición de este patrón de movimiento fundamental el bebé pasa por estadios previos como el gateo o la cuadrupedia, en los que se observa la alternancia de los movimientos de las extremidades.

Finalmente, cualquier movimiento requiere información relativa a las muchas circunstancias que lo pueden modificar o ratificar. Los receptores que pueden intervenir enviando información al SNC son múltiples.

En definitiva, cualquier **movimiento** depende de tres sistemas: **sistema de información, sistema de elaboración e integración de la información y sistema de ejecución** (figura 6.2). En este apartado se analizan inicialmente los tres sistemas que determinan la respuesta motriz, comenzando por el sistema de ejecución, continuando con el sistema de información y terminando con el sistema más complejo, el de análisis y elaboración. Para comprender cómo podemos aplicar los conocimientos del análisis de los sistemas que determinan la respuesta motriz a la mejora de la técnica deportiva, se aborda finalmente el estudio de la organización del movimiento.

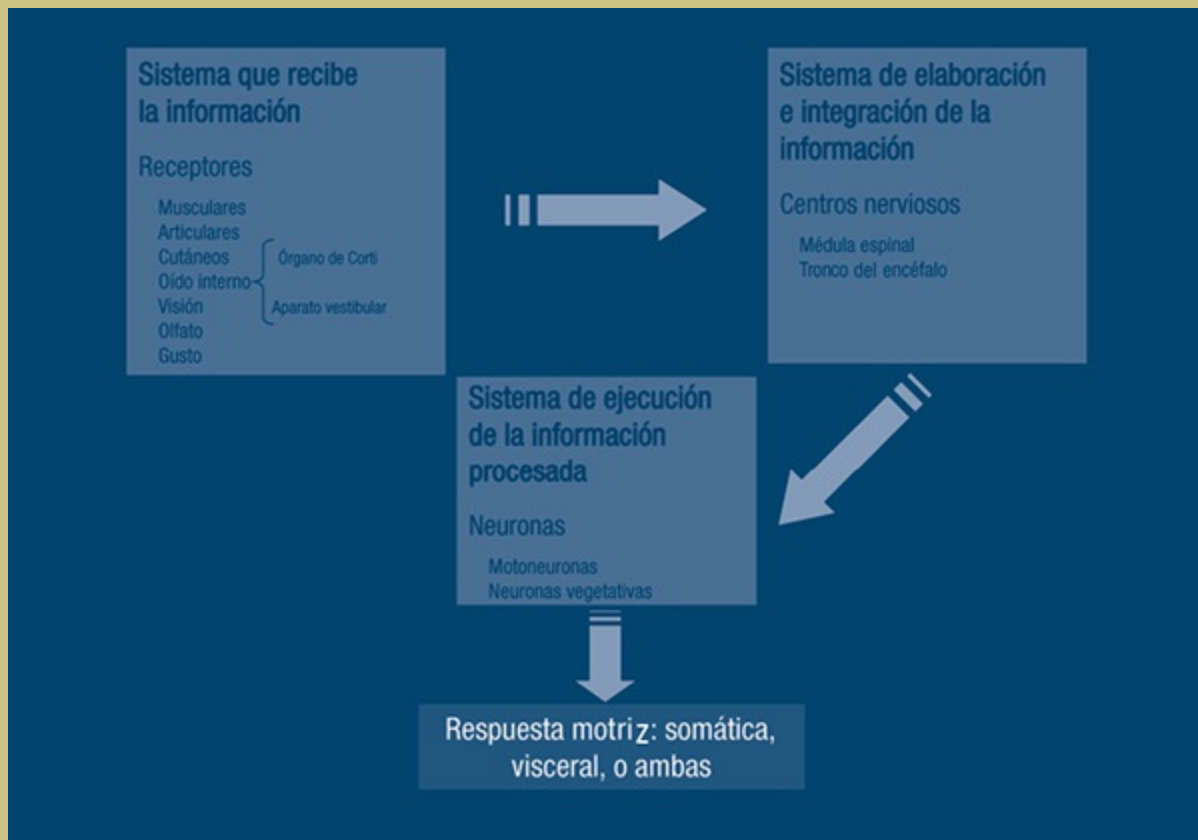


FIGURA 6.2. Sistemas que determinan la ejecución del movimiento. Cualquier movimiento requiere los sistemas de información, elaboración y ejecución.

Original de los autores.

1.1. Principios neurofisiológicos aplicados a la motricidad

El sistema de ejecución: características de las unidades motrices

En el asta anterior de la médula espinal se encuentran todas las neuronas que, directa o indirectamente, intervienen en el movimiento. Principalmente se distinguen dos tipos de motoneuronas: α y γ . Las **motoneuronas α** son las encargadas de generar el movimiento, mientras que las **motoneuronas γ** intervienen en su control. La **unidad motriz (UM)** es el conjunto formado

por la motoneurona, su axón y todas las fibras musculares inervadas por éste (Henneman, 1974). La precisión de los movimientos depende de la relación de inervación, es decir, del número de fibras musculares inervadas por un solo axón. Así, por ejemplo, los músculos extrínsecos del ojo poseen una relación muy alta, mientras que los músculos antigravitatorios tienen una relación muy baja.

TABLA 6.1. Características básicas de las unidades motrices en relación con el tipo de fibra muscular que inervan

	<i>Unidades ST (motoneuronas alfa tónicas)</i>	<i>Unidades FT (motoneuronas alfa fásicas)</i>
Propiedades mecánicas	Velocidad lenta, menor tensión, resistentes	Velocidad rápida, mayor tensión, fatiga rápida
Propiedades químicas	Metabolismo oxidativo. Mioglobina (rojas)	Metabolismo glucolítico. Poca mioglobina (blancas)
Propiedades eléctricas	Período de latencia prolongada	Período de latencia breve

ST: fibra lenta (*slow twitch*); FT: fibra rápida (*fast twitch*).

Original de los autores.

Un músculo se contrae cuando recibe el potencial de acción procedente de las motoneuronas que lo inervan. Por consiguiente, motoneurona y fibra muscular forman un todo indivisible a la hora de comprender el sistema de ejecución. La relación existente entre las propiedades de las fibras musculares (mecánicas, morfológicas, histoquímicas y bioquímicas) y las correspondientes a las motoneuronas (tamaño y características eléctricas) determinan la UM (Burke, 1981). Parece lógico pensar que cuantas más UM sean activadas mayor será el desarrollo de fuerza. Por otra parte, existen diferentes tipos de fibras musculares, lo que implica que las motoneuronas que las inervan también sean diferentes. En definitiva, los factores que intervienen en la contracción muscular son:

Propiedades de la unidad motriz. La maduración, la diferenciación y el mantenimiento de las propiedades específicas de las unidades motrices están determinadas principalmente por las características de las motoneuronas α (Burke, 1981). De forma general, existen dos tipos de motoneuronas, que se suelen denominar fásicas y tónicas. La tabla 6.1 y la figura 6.3 muestran las características generales de las UM.

En general, los músculos poseen un porcentaje similar de UM ST y FT. Dentro de las UM FT se distinguen las FTa y las FTb en función de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

velocidad y la fuerza de contracción. Intuitivamente se entiende que un aumento de la fuerza se alcanza cuanto mayor sea el número de UM FT activadas. Por el contrario, se logra una mayor resistencia cuanto mayor número de UM ST participen.

Reclutamiento progresivo de unidades motrices. En 1970, Henneman enunció el denominado “principio del tamaño”, cuyo significado es el siguiente: este principio señala que el tamaño lo determina la relación de inervación, de manera que las unidades motrices con una elevada relación de inervación son las primeras en ser reclutadas, y las de baja relación son reclutadas más tarde (Henneman, 1974). Así, cuando hay poca actividad en el conjunto de motoneuronas que controlan un músculo y la tensión desarrollada es baja, para aumentar ésta se reclutan las unidades motrices más pequeñas. Esto permite que los incrementos sean pequeños, previniendo aumentos bruscos de la tensión. Cuando la tensión aumenta, se van añadiendo unidades motrices mayores (elevada relación de inervación), con lo que se consiguen mayores incrementos de tensión (Bawa, 2002; Burke, 1981; Henneman, 1974). El orden natural de reclutamiento es el siguiente: ST (tipo I) s FTa (tipo IIA) s FTb (tipo IIB). Ello permite que los incrementos de tensión necesarios sean graduales, evitando los cambios bruscos (Sale, 1988; Sale, 1987).

Durante un esfuerzo de intensidad creciente el porcentaje de utilización de las fibras musculares se relaciona estrechamente con el principio del tamaño. En las figuras 6.4 y 6.5 se muestra cómo a medida que aumenta el porcentaje de fuerza se producen dos efectos: en primer lugar se incrementa el nivel de participación de las UM más grandes y en segundo lugar aumenta la frecuencia de descarga.

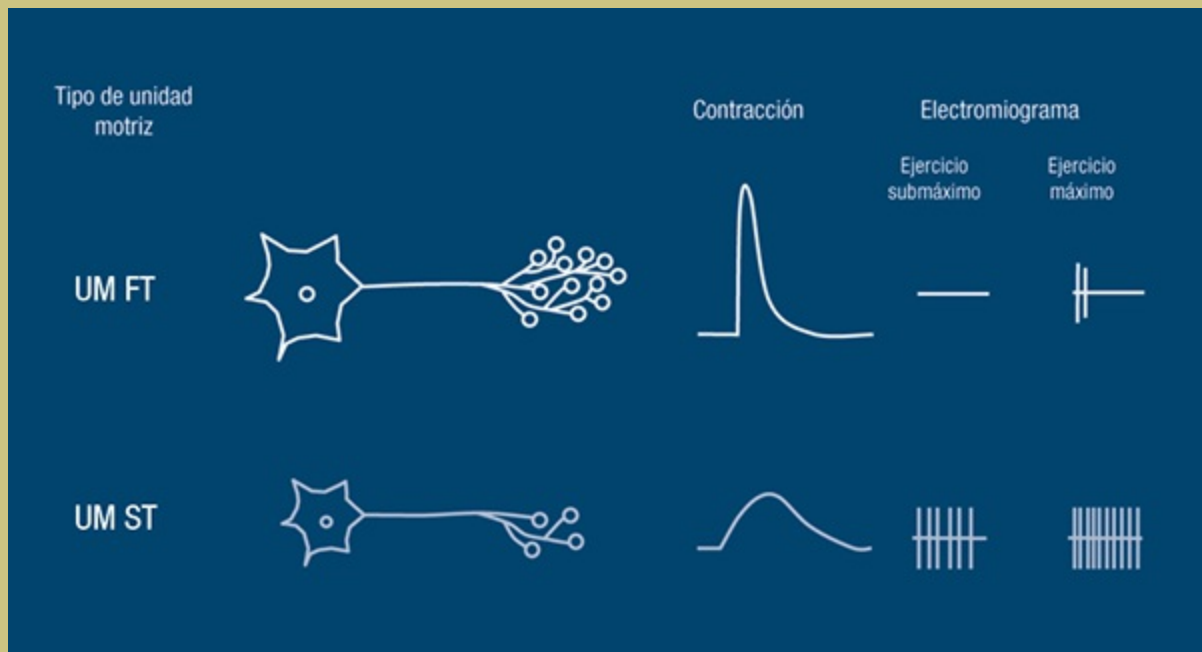


FIGURA 6.3. Tipos de unidades motrices. Obsérvese cómo el tamaño del soma es mayor en las UM FT, pero su relación de inervación es menor, ya que activa más fibras musculares. También se observan sus diferencias en la activación y la participación en ejercicios máximos y submáximos.

Original de los autores.

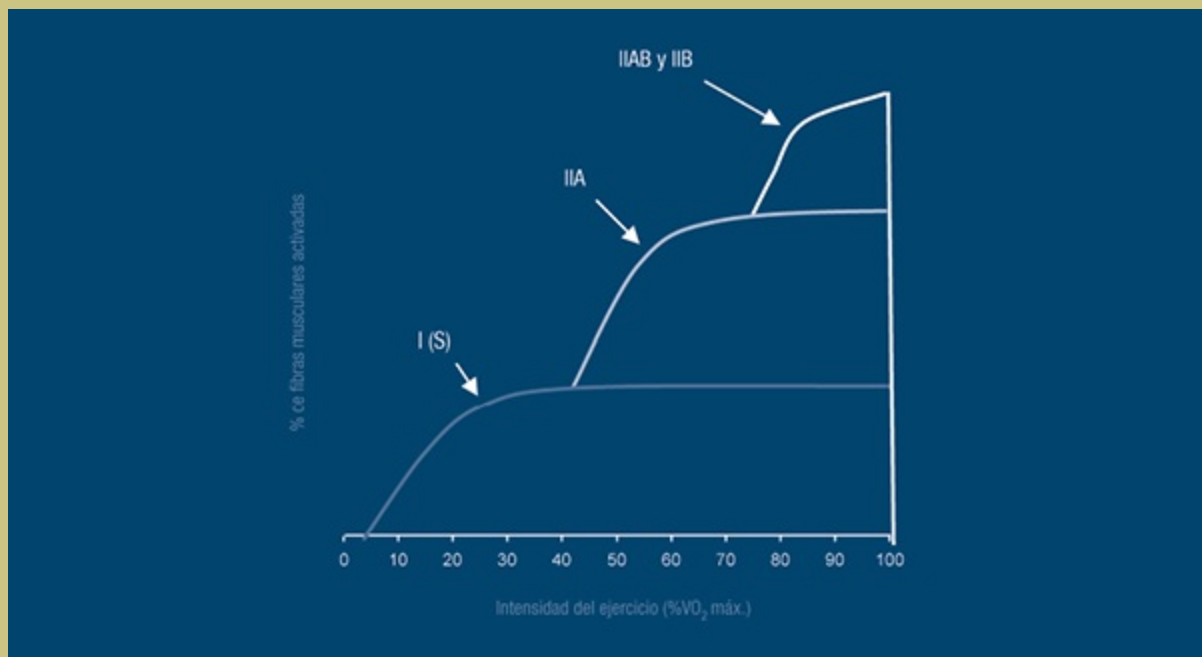


FIGURA 6.4. Porcentaje de fibras musculares activadas en relación con la intensidad del ejercicio. A intensidades bajas, por debajo del 40% del VO_2 máx., no es necesaria la participación de motoneuronas FT, y únicamente se activan fibras musculares tipo I. A medida que aumenta la intensidad se incorporan las fibras tipo II, comenzando por las fibras tipo A y finalizando por las fibras tipo B, gracias a la participación de las UM FT.

Original de los autores.

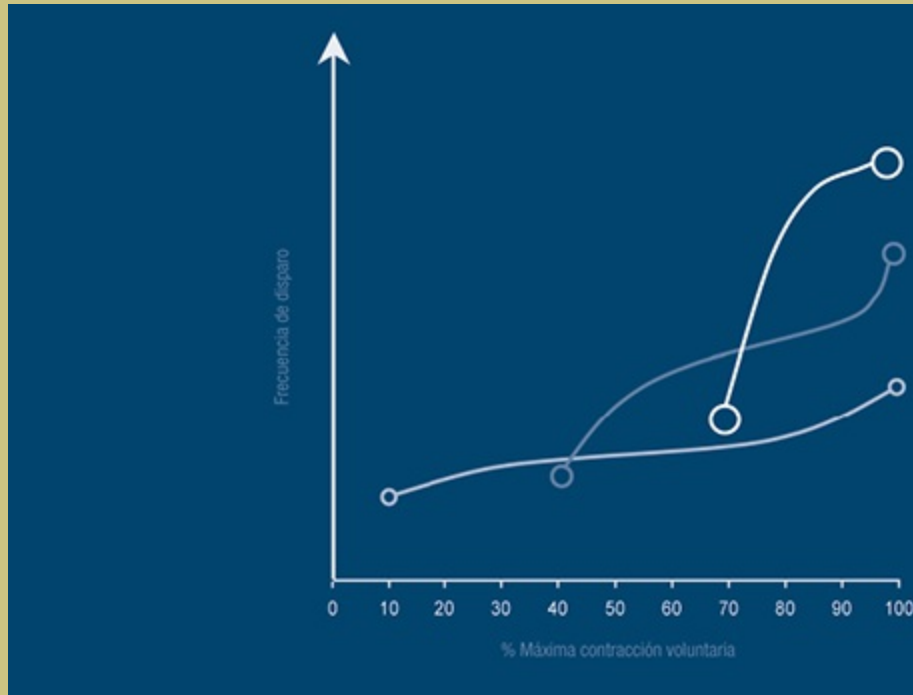


FIGURA 6.5. Frecuencia de descarga en relación con la intensidad. A medida que aumenta la intensidad se incrementa la frecuencia de descarga y el tamaño de las UM (representado por el tamaño del círculo).

Original de los autores.

Sumación temporal en una unidad motriz. Otra alternativa de controlar la fuerza consiste en repetir la activación de una determinada UM durante un tiempo, y se denomina sumación temporal; esto significa que la frecuencia con la que se activa la misma UM aumenta, incrementando la frecuencia de descarga de dicha unidad.

Activación asincrónica de las unidades motrices. La sincronización en la activación de un determinado número de motoneuronas permite incrementar el tiempo de contracción, reduciendo la fatiga individual de las UM y del músculo completo, es decir, es el aumento del número de UM contraídas de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

manera simultánea en un instante concreto.

En resumen, el control de la ejecución de un determinado movimiento se lleva a cabo mediante la participación progresiva de las UM. Cuando el movimiento realizado exige un pequeño desarrollo de fuerza pero con contracciones repetidas de la musculatura implicada, las UM activadas son las ST. Por el contrario, cuando el movimiento llevado a cabo implica un gran desarrollo de fuerza, las UM activadas son las FT.

Desde el punto de vista de la técnica, en numerosas ocasiones el aprendizaje comienza con la repetición de un gesto muchas veces y a velocidad media o baja. Esto implica que durante la acción se reclutan principalmente las UM ST; sin embargo, en la competición muchos gestos deportivos se realizan a gran velocidad y con altos desarrollos de fuerza. Parece lógico entonces aumentar la velocidad de ejecución e implicar progresivamente unidades UM FT, ya que éstas serán responsables del movimiento en la competición.

El sistema de información: características de los receptores

La información sobre las características y condiciones en las que se desarrolla un determinado movimiento es enviada al SNC procedente de diversos receptores. Por un lado, procede de receptores propios del movimiento, como son los receptores musculares, los receptores articulares y los receptores cutáneos. Por otra parte, la información puede proceder de receptores que se encuentran fuera del aparato locomotor, pero cuya función es determinante en el control del movimiento, como son el aparato vestibular y el ojo.

Los receptores se pueden clasificar según la fuente del estímulo, el tipo de estímulo, el tipo de sensación producida y la localización. En la tabla 6.2 se muestra la clasificación de los receptores con arreglo a su localización anatómica y el tipo de estímulo que reconocen.

Desde un punto de vista práctico, consideraremos que la **información del movimiento** procede de dos tipos de receptores: receptores musculares y extramusculares. Los **receptores musculares** forman parte del tejido muscular y son principalmente el huso muscular (HM) y el órgano tendinoso de Golgi (OTG). Los **receptores extramusculares** son los que no forman parte del músculo, pero ejercen una acción determinante sobre el control

motor. Se encuentran o forman parte de estructuras no musculares y son muy diversos, formando incluso estructuras anatómicas: ojo, aparato vestibular, receptores cutáneos y receptores articulares.

La información de los receptores, a través de las vías aferentes, permite el retrocontrol de la vía final común y de los propios programas directamente o a través de las áreas de proyección. La información de los receptores permite el control de los **movimientos servoasistidos** (aquellos en los que el SNC recibe en todo momento la información procedente de los receptores correspondientes). Por el contrario, los **movimientos balísticos**, al desarrollarse a una gran velocidad, son de difícil control a través de la información sensitiva.

TABLA 6.2. Clasificación de los receptores según su localización anatómica y el estímulo que reconocen

	<i>Localización anatómica</i>	<i>Tipo de receptor</i>	<i>Estímulo reconocido</i>
<i>Generales</i>	Cutáneos	Mecanorreceptores Termorreceptores Nociceptores	Presión Calor Dolor
	Musculares	Nociceptores Mecanorreceptores	Dolor Presión/tensión
	Articulares	Nociceptores Mecanorreceptores	Dolor Presión
	Órganos internos	Osmorreceptores Quimiorreceptores Barorreceptores Mecanorreceptores	Variaciones osmóticas Variaciones químicas Presión Presión
<i>Especiales</i>	Forman estructuras anatómicas como el ojo, el oído o el aparato vestibular		

Original de los autores.

Características funcionales de los receptores musculares

Los principales receptores que intervienen en el control motor se encuentran dentro de la estructura muscular y son el **HM** y el **OTG**. Mientras que el HM se encuentra en paralelo con las fibras musculares, el OTG se localiza a continuación de éstas, es decir, en serie (Calderón y Legido, 2002; Fush, 1989; Pazo, 1989). Esta localización es determinante para entender su

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

función en el control motor. La tabla 6.3 resume las características funcionales de los dos receptores.

Es necesario hacer algunas consideraciones sobre estos receptores. En primer lugar, el número de HM no depende del tamaño del músculo, sino del papel que cumplen dentro del control de la postura y el movimiento. Así, se encuentran en gran número en la mano, el cuello y los músculos antigravitatorios o posturales, por ejemplo, el sóleo, al ser fundamentales en los movimientos finos. Sin embargo, son escasos en los músculos del hombro, el muslo y la pierna, por ejemplo, el gastrocnemio.

TABLA 6.3. Características de los receptores musculares

<i>Huso muscular</i>	<i>Órgano tendinoso de Golgi</i>
– Responde a diferentes formas de estiramiento – Envía información a través de las terminaciones aferentes Ia y II al SNC sobre las variaciones del grado de estiramiento – Posee una inervación propia: las motoneuronas γ – La activación de estos receptores desencadena un reflejo: el reflejo miotático – Se considera que el papel del reflejo miotático sería el soporte y refuerzo de los patrones motores	– Responde a las variaciones de tensión de un pequeño número de unidades motrices – Envía información a través de las terminaciones aferentes Ib al SNC sobre las variaciones de tensión – La activación de estos receptores desencadena un reflejo: el reflejo miotático invertido – Se considera que el reflejo miotático invertido intervendría en la regulación de la fuerza muscular

Original de los autores.

El número de OTG es muy variable en función del músculo y la especie animal estudiada. En el ratón se calculan de 5 a 7 OTG por músculo, pero existe una gran variabilidad. En los primates, los músculos de la mano tienen muy pocos OTG, contrariamente al número de HM, que son muy abundantes. En general el número de HM es mayor que el de OTG. Dada la función de los OTG, la relación entre el número de unidades motrices y estos receptores es muy diferente en los músculos.

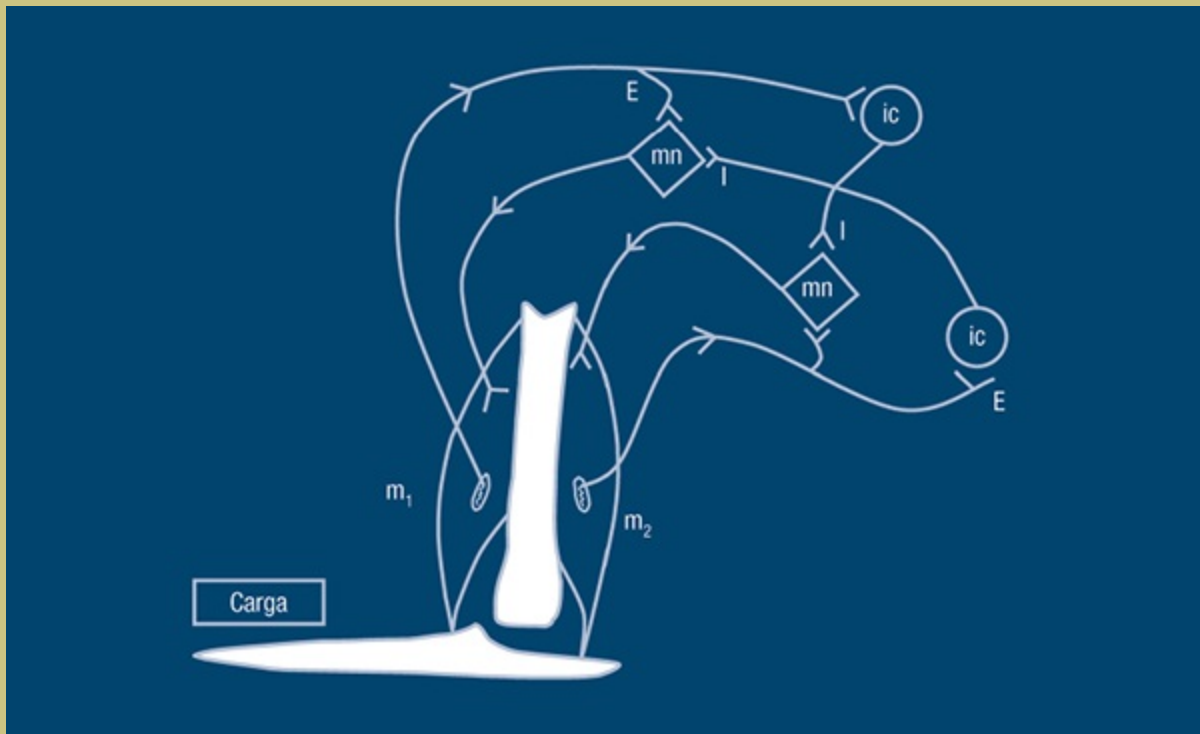


FIGURA 6.6. Representación de los músculos antagonistas y sus conexiones espinales. Las conexiones recíprocas entre los músculos se ilustran esquemáticamente. Se observa cómo las neuronas internupciales (ic) que reciben información aferente de los husos musculares inhiben (I) las motoneuronas (mn) eferentes del músculo antagonista.

Original de los autores.

Características funcionales de los receptores extramusculares

Dentro de los receptores extramusculares están incluidos los receptores localizados en las articulaciones y los cutáneos (Shepherd, 1988). Los **receptores intraarticulares** parecen dar información al SNC acerca de posiciones extremas de la amplitud articular, pero no de las intermedias. Parecen, por tanto, poco importantes en el control del movimiento, pues cuando las articulaciones se bloquean o son eliminadas por prótesis no parece que existan diferencias en la percepción de la posición de una determinada articulación. A los **receptores cutáneos** se les ha atribuido un papel de defensa. Su estimulación da origen a reflejos como el nociceptivo, también denominado de forma coloquial reflejo de retirada. Como se han demostrado

relaciones de inervación con motoneuronas del lado opuesto, también se denomina reflejo flexor-extensor cruzado. Todo el mundo lo ha experimentado cuando andando por la playa se ha pinchado con algún objeto. El resultado es flexionar el miembro afectado (reflejo de retirada o nociceptivo) y al mismo tiempo extender el miembro contralateral (reflejo flexor-extensor cruzado).

Además de las características del movimiento, el SNC recibe información procedente de diversos receptores que permiten controlar factores tan importantes como la postura y el equilibrio. Estos receptores son el aparato vestibular y sistema visual (músculos extrínsecos del ojo y fotoceptores).

El **aparato vestibular** se encuentra situado en el oído interno, y de forma muy básica y desde el punto de vista funcional presenta dos partes: los conductos semicirculares y el utrículo (Horak y Macpherson, 1996; Pazo, 1989; Shepherd, 1988). Los primeros responden a movimientos de la cabeza en cualquier plano del espacio detectando variaciones de la aceleración angular. Los segundos detectan las variaciones de la aceleración lineal.

El **sistema visual** es en muchos casos el mayor corrector de errores tanto en el aprendizaje de los movimientos como en su control. Por ejemplo, cuando una gimnasta se encuentra sobre la barra fija en equilibrio monopodal, es importante la información de los receptores musculares y del aparato vestibular. Sobre todo durante el aprendizaje, el sistema visual es fundamental para corregir errores. Por tanto, aunque la información visual no se requiere de forma absoluta para el control motor, es muy necesaria principalmente en las fases iniciales del aprendizaje motor. Por ejemplo, una persona puede escribir su nombre sin la necesidad de la visión como corrector de errores. Anular la información visual puede ser importante para resaltar el papel de otros receptores en el aprendizaje.

El sistema de análisis y elaboración

La multiplicidad de la información aportada por los receptores musculares y extramusculares es analizada de forma sencilla o compleja en razón al nivel jerárquico considerado, debido principalmente al número de estructuras nerviosas que intervienen. De forma elemental, toda la información procedente de los **receptores musculares** llega a la **médula espinal**, de manera que esta parte del SNC se convierte en el primer centro de reconocimiento y análisis. Sin embargo, la información aportada por los

receptores extramusculares alcanza el SNC **sin análisis de la médula espinal**. No obstante, en cualquiera de los dos casos, el análisis de la información es extremadamente complejo y está todavía muy lejos de conocerse.

Médula espinal

La integración espinal de toda la información procedente de los **receptores musculares** radica en las relaciones entre las **terminaciones aferentes** y las **motoneuronas**. Estas relaciones no se realizan en ningún caso de forma directa, sino que lo hacen a través de neuronas intermedias o interneuronas, que sirven de nexo de unión entre la información sensitiva aferente y la señal de ejecución. Al mismo tiempo que la información aferente llega a la **médula espinal**, parece lógico que el resto del SNC conozca la información de los receptores musculares. Si no fuera así, ¿cómo podrían los sistemas de coordinación corregir errores? En efecto, las terminaciones nerviosas que entran en la médula espinal, al mismo tiempo que establecen relación con las motoneuronas, ascienden y llegan a los centros nerviosos de coordinación, principalmente el **cerebelo**.

Tronco del encéfalo

El **tronco del encéfalo** es la continuación de la médula espinal. Aunque anatómicamente es una región difusa del SNC, funcionalmente se le adscribe un gran significado. En el tronco del encéfalo se encuentran diversos núcleos (núcleos de la información somática, visceral, así como los núcleos de los pares craneales) que de forma conjunta se denominan formación reticular. Esta formación ejerce **efectos moduladores sobre la médula espinal y la corteza cerebral**.

Corteza cerebral

La **corteza cerebral** es la envoltura que recubre el encéfalo y en función de su localización realiza distintas funciones. La corteza motriz interviene en la programación y ejecución de los movimientos voluntarios (Pazo, 1989). Desde el punto de vista práctico, las zonas corticales pueden dividirse en dos zonas: de ejecución y de programación. La **zona de ejecución** está formada

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

por las áreas corticales directamente relacionadas con los músculos. La **zona de programación** se encuentra representada por las zonas de la corteza cerebral indirectamente relacionadas con los músculos. No obstante, esta división es un mero recurso didáctico, pues todas las áreas corticales se encuentran íntimamente relacionadas entre sí.

Las áreas motrices de ejecución se encuentran organizadas en función de los movimientos más que de los grupos musculares que desarrollan. En razón de esto se distinguen tres tipos de neuronas corticales: fásicas, tónicas y fasciotónicas o mixtas. Estos tres tipos de neuronas parecen estar relacionados con el tipo de movimiento a ejecutar. Las áreas motrices de programación presentan una población neuronal más diversa y con menos cantidad de neuronas motrices o piramidales.

Los estudios realizados en primates y en seres humanos han permitido aclarar en parte el papel de cada una de las zonas señaladas (Pazo, 1989). En general, la **corteza primaria** se encargaría de la ejecución de los movimientos. En efecto, de las áreas corticales parten los axones de las neuronas piramidales que establecen sinapsis con las motoneuronas de la médula espinal. El conjunto de estos axones constituye la vía descendente denominada haz o fascículo piramidal. Esta vía se relaciona directamente con la ejecución voluntaria de cualquier movimiento. En las **áreas corticales de programación**, los axones de las neuronas no se relacionan directamente con las motoneuronas espinales. Por tanto, no intervienen en la ejecución del movimiento. Estas zonas envían sus axones hacia las áreas corticales de ejecución. Se piensa que intervienen en programar y planificar el movimiento. No obstante, esta división funcional es una visión parcial de lo que sucede en la realidad y son difícilmente separables.

Estructuras de control del movimiento

Existen dos estructuras que debido a su disposición en el SNC son imprescindibles para el control motor: el cerebelo y los ganglios basales (Calderón y Legido, 2002; Horak y Macpherson, 1996). Aunque no se han descrito vías directas entre estas estructuras y las motoneuronas de la médula espinal, son imprescindibles para que los movimientos sean coordinados y precisos. Sin embargo, existen notables diferencias entre ambos. Así, mientras que el cerebelo recibe toda la información sensitiva periférica y central, los ganglios basales se limitan a estar informados a través de la

corteza.

Los **ganglios basales**, aunque anatómicamente están constituidos por cinco núcleos, funcionalmente operan como un solo grupo en el control motor del movimiento. Las características que interesan desde el punto de vista del control motor son: (i) la información que reciben estos centros de control motor procede de la corteza motriz; (ii) los ganglios de la base proyectan sus salidas hacia la corteza motriz; (iii) la forma de procesar la información es modulando las características del movimiento (dirección, amplitud y velocidad) evitando los movimientos no deseados, y (iv), conjuntamente con el cerebelo, se piensa que podrían participar equilibrando las intenciones de la corteza motriz con el movimiento en sí mismo.

Estudios en animales de experimentación y en seres humanos han demostrado que la activación de los ganglios basales es posterior a la de la corteza motriz primaria. Esta activación previa de los ganglios basales hace suponer que, aunque en sentido estricto no intervienen en el inicio de los movimientos, sí lo podrían hacer en el control de éstos.

La situación anatómica del **cerebelo**, entre la periferia sensorial y la eferencia motriz, permite el ajuste de la señal de salida de los sistemas motores, determinando un control exacto de los movimientos. La organización del cerebelo se ilustra en la figura 6.7. Al igual que el encéfalo, presenta una corteza (corteza cerebelosa), una sustancia blanca y unos núcleos de donde parten las eferencias del cerebelo. La información que llega al cerebelo procede de la totalidad de los receptores (musculares y extramusculares) y de otras estructuras necesarias para el control motor como la propia corteza motriz. Dicha información llega a la corteza, donde es codificada mediante complejos circuitos que se establecen entre las aferencias y las neuronas de la corteza. La señal sale codificada de la corteza a través de los axones de unas neuronas denominadas de Purkinje. Las salidas de la corteza establecen relación con las neuronas de los núcleos cerebelosos, a partir de los cuales salen las eferencias del cerebelo.

Como los núcleos cerebelosos reciben también información de las aferencias a la corteza cerebelosa, la organización descrita se convierte en un verdadero centro analizador al comparar la información directa cinestésica con la modulación realizada a través de los circuitos complejos de la corteza cerebelosa. En síntesis, esta organización del cerebelo permite desde el punto de vista motor recibir toda la información procedente de receptores musculares y extramusculares, y los circuitos cerebelosos internos de la

corteza cerebelosa determinan que el cerebelo actúe como sistema comparador o de referencia modulando la señal de la información aferente procedente de los receptores y de la corteza cerebral.

Las características señaladas han permitido aclarar en parte el papel del cerebelo en el control motor. Esta estructura del SNC interviene en la regulación de la postura y el movimiento, así como en el control, la programación y la selección de los programas motores. El cerebelo recibe información del aparato vestibular y de todos los receptores de manera que conoce la situación de la cabeza y del tronco en relación con los tres planos del espacio. Si la cabeza y el tronco se desvían hacia un lado, de modo que se pueda perder el equilibrio, inmediatamente el cerebelo ordena los ajustes necesarios (aumento del tono extensor contralateral) para impedirlo. Por otra parte, se ha demostrado que en los movimientos rápidos o balísticos la actividad neuronal de los núcleos cerebelosos se anticipa tanto al inicio del movimiento como a la activación de la corteza primaria. En los movimientos lentos o servoasistidos el cerebelo puede evaluar e integrar la información periférica respecto a unos niveles de referencia realizando los ajustes necesarios en las vías motrices.

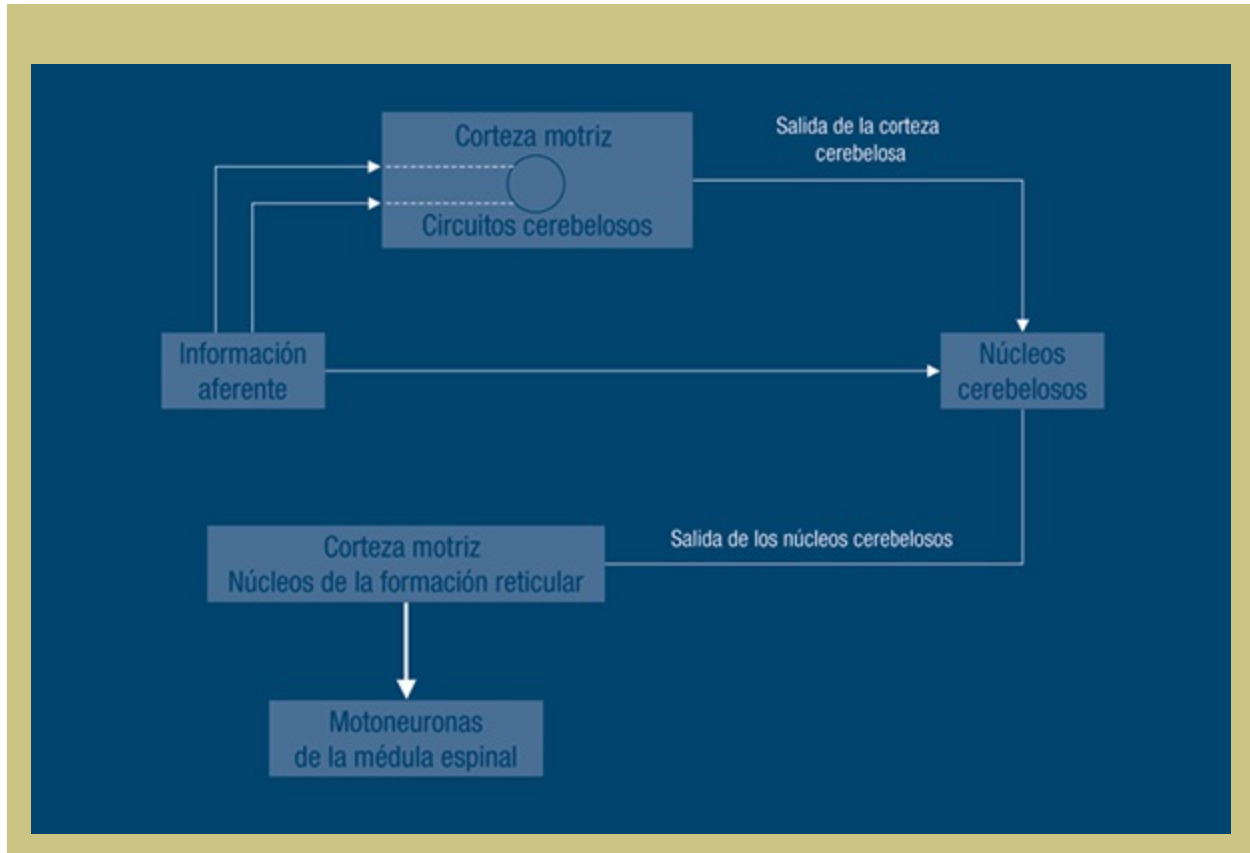


FIGURA 6.7. Organización del cerebelo.

Original de los autores.

1.2. Organización general del movimiento

Para comprender cómo podemos aplicar los conocimientos anteriores a la mejora de la técnica deportiva es necesario saber cómo se establece la **organización general del movimiento**. En primer lugar, lo que necesitamos conocer es cómo se relacionan las estructuras superiores (corteza y tronco del encéfalo) con las motoneuronas espinales. En segundo lugar, necesitamos saber cómo el SNC planifica y controla el movimiento. Supongamos que vamos a realizar un movimiento tan simple como llevar el dedo índice a la nariz. Esta prueba se suele realizar en la exploración neurológica.

La persona que hace la prueba debe seleccionar las rutinas de movimiento a realizar, *a priori* muy simples: flexión del brazo y extensión del dedo índice. Este proceso se encuentra grabado en determinadas áreas de la corteza cerebral que se relacionan estrechamente con la corteza primaria, en la que se localizan los movimientos de cada segmento, que no se corresponden con el tamaño muscular, sino con la precisión de los movimientos a realizar (homúnculo de Penfield). Al mismo tiempo que se seleccionan las rutinas, la información llega al cerebelo, que de nuevo la reenvía a la corteza motriz. El cerebelo ajusta la dirección del movimiento y la magnitud de la fuerza de los músculos. Cuanto más lento sea el movimiento de flexoextensión, mayor será la retroalimentación procedente de los receptores musculares y extramusculares.

Los movimientos se pueden clasificar de muchas maneras, pero desde el punto de vista del control motor la forma de clasificación más adecuada es: movimientos reflejos, movimientos voluntarios y movimientos rítmicos (semiautomáticos) (Fuchs, 1989).

Movimientos reflejos. Constituyen el nivel más elemental, pero son de una considerable complejidad. Ejemplos de la vida cotidiana como la retirada de un miembro ante un agente nocivo ilustran las características de estos tipos de movimientos: trayectoria estereotipada, rapidez de acción, automaticidad e involuntariedad. El control de estos movimientos no requiere la participación de estructuras centrales de un nivel de desarrollo muy elaborado.

Movimientos voluntarios. Son movimientos que dependen de la voluntad y

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

se caracterizan por poder variar las propiedades del movimiento: dirección, amplitud y duración. Además, este tipo de movimientos puede ser aprendido y almacenado. Su control requiere la participación de estructuras superiores del encéfalo tanto para la realización como para su control. Este tipo de movimientos se puede realizar a una alta velocidad (balísticos) o de forma más lenta (servoasistidos).

Movimientos rítmicos (semiautomáticos). Determinados movimientos como la locomoción o la respiración se encuentran entre los dos anteriores, ya que pueden iniciarse de forma voluntaria y continuar sin necesidad de control voluntario. Los movimientos rítmicos se caracterizan por una determinada secuencia y por ser semiautomáticos. Su control se realiza en estructuras del SNC, la médula o el tronco del encéfalo, donde se localizan los denominados generadores de ritmo.

Relaciones funcionales entre los centros superiores y la médula espinal

Anteriormente (véase el sistema de ejecución) hemos visto que el movimiento se realiza por la activación de las motoneuronas de la médula espinal. ¿Qué estructuras nerviosas establecen relación con las motoneuronas espinales y en definitiva dirigen cualquier movimiento? Si bien no es objeto de este texto realizar una descripción pormenorizada de las vías descendentes motrices, sí conviene enumerar y mencionar brevemente su función (Gandevia y Kinesthesia, 1996; Fuchs, 1989; Shepeherd, 1988). Funcionalmente se consideran los siguientes sistemas: (i) **sistema ventromedial**, que interviene en el control del equilibrio y la postura, sirviendo de base para la realización de movimientos complejos; (ii) **sistema lateral**, que controla los músculos distales de las extremidades, y (iii) **sistema piramidal**, que establece relación directa con las motoneuronas espinales e indirecta a través de las relaciones con los núcleos del tronco del encéfalo.

Por consiguiente, cualquier movimiento se lleva a cabo mediante la activación de cualquiera de los sistemas señalados. Hace algún tiempo, aunque todavía se utilizan, desde un punto de vista simple se distinguían dos sistemas: piramidal y extrapiramidal. El segundo se refería a todas las vías que se encontraban fuera de la vía piramidal. Mientras que el sistema

piramidal se encuentra relacionado directamente con los movimientos voluntarios, el sistema extrapiramidal se relaciona con los movimientos involuntarios.

En último término, la ejecución del movimiento se reduce a la **activación de las motoneuronas** espinales, tanto las motoneuronas alfa como las gamma. La descarga sobre las motoneuronas desde los centros superiores permite la realización de movimientos complejos, ya sean voluntarios, innatos o aprendidos. Esta activación del *pool* de motoneuronas se encuentra bajo influencia facilitadora, inhibidora o ambas, tanto a nivel espinal como supraespinal.

Planificación y control del movimiento

Para realizar cualquier movimiento es necesario un orden en la **planificación y el control del movimiento** (Shepherd, 1988). Muchos movimientos, al estar grabados y constituir el patrimonio motor de cada animal, aparentemente no requieren planificación. Por ejemplo, la marcha es un movimiento semiautomático, pues inicialmente se decide realizarla, de manera que interviene la corteza cerebral. Sin embargo, una vez que se ha puesto en marcha la secuencia de movimientos y su control, éstos se pueden realizar sin la necesidad de la corteza cerebral. Por el contrario, los movimientos complejos que se dan en el deporte parece que requieren la participación continua de la corteza motriz hasta que se alcanza un grado de automatismo comparable al de la marcha. En general las fases de cualquier movimiento se dividen en: (i) **selección del programa** o programas motores y (ii) **control de la ejecución** de un programa motor.

Selección del programa o programas motores

Los estudios en primates han permitido conocer en parte cómo interviene la corteza en la formación de los programas motores. Las áreas motrices adscritas a la **selección de los programas motores** son: el área motriz suplementaria y el área promotriz.

El **área motriz suplementaria** se encargaría de la programación general de las diferentes subrutinas necesarias para la ejecución de los movimientos realizados a través del área motriz primaria. Interviene en la programación del movimiento, sobre todo en las instrucciones para el habla, la

estabilización postural y la coordinación de los miembros. Su lesión provoca lo que se conoce como apraxia motriz (incapacidad para realizar algunos movimientos aprendidos).

El **área promotriz** intervendría en los movimientos intencionados pero no en los realizados sólo con el pensamiento, y no parece estar relacionada directamente con la programación general de los movimientos, sino con los cambios de programa, basados en la información sensitiva que le aporta el área parietal posterior. Participa en la programación del movimiento, sobre todo de los movimientos que son guiados por estímulos sensoriales externos.

Control de la ejecución de un programa motor

Se ha demostrado en animales de experimentación que, antes de que se ejecute un determinado movimiento, los ganglios basales y el cerebelo se activan antes de que se produzca la contracción de los músculos. Estos resultados han llevado a pensar que estas estructuras intervienen en el **control del movimiento**, formando parte de la organización de los programas motores.

En la figura 6.8 se representa un esquema general de la organización del movimiento. En líneas discontinuas figuran las señales previas a que se produzca el movimiento, que se realiza por la activación del área motriz primaria, que activa las motoneuronas de los segmentos medulares correspondientes. Una vez que esas motoneuronas han sido activadas para un determinado acto motor voluntario, envían de forma instantánea la información a los centros nerviosos de regulación o control de aquél. De esta manera, antes de que lleguen las órdenes motrices, a través de las vías motrices que terminan en las motoneuronas espinales, la información es modificada y devuelta de nuevo a la propia corteza. De esta forma, las intenciones de la corteza que sobrepasan la realidad del movimiento son moduladas por estructuras centrales de control (ganglios basales y cerebelo).

La realización de cualquier movimiento requiere que el SNC regule y controle cada uno de los músculos que intervienen directa o indirectamente con **tres objetivos**: (i) coordinación entre las actividades de todos los miembros que intervienen en el movimiento; (ii) modificación de cada segmento corporal en función de las características particulares de cada movimiento en cuanto a la carga externa y el entorno, y (iii) control del centro de gravedad y por consiguiente del equilibrio.

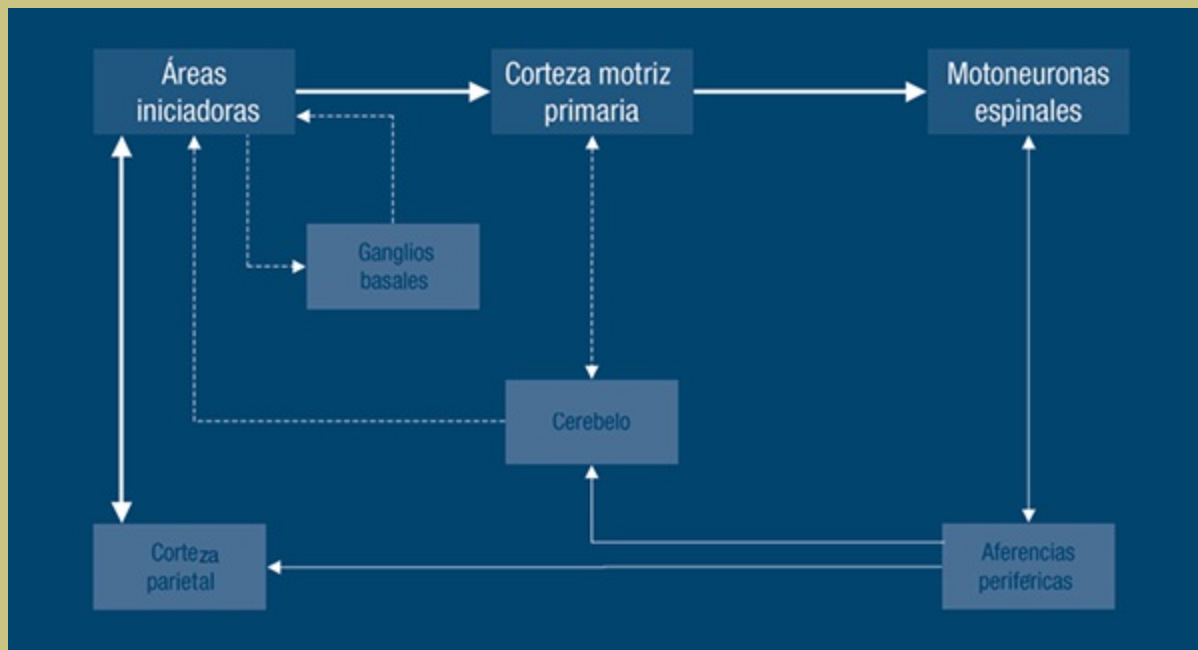


FIGURA 6.8. Organización del movimiento.

Original de los autores.

Estos tres objetivos se consiguen en función de las **señales de retroalimentación**. En los movimientos servoasistidos, la información **periférica** es esencial. Por ejemplo, la persona que aprende el movimiento de los brazos en natación con estilo crol requiere la información de los receptores musculares para ejecutar correctamente este movimiento. De hecho, en el proceso de aprendizaje se emplean procedimientos que enlentecen el movimiento real. En el ejemplo, la tabla se utiliza para que la ejecución del movimiento sea servoasistida por los receptores musculares. Por el contrario, en los movimientos realizados a gran velocidad la retroalimentación periférica no llega a tiempo a las estructuras de control. En este tipo de movimientos la retroalimentación **central** es la que permite que el movimiento sea realizado de forma adecuada. Esta retroalimentación se refiere a la indicada en la figura con las líneas discontinuas.

Aplicaciones de la organización general del movimiento al aprendizaje de la técnica deportiva

Abordar este epígrafe con cierto rigor científico es con toda seguridad una tarea bastante compleja debido a la gran diversidad de movimientos que se dan en el mundo del deporte. Aunque sea una forma arbitraria de clasificación, podemos dividir los movimientos deportivos de la siguiente forma: (i) movimientos que son una ampliación de patrones neurofisiológicos innatos o aprendidos de forma natural, y (ii) movimientos que modifican en parte las reacciones fisiológicas que llevaría a cabo el sistema nervioso.

Podemos establecer como ejemplos de **movimientos que son una ampliación de patrones motores innatos** las técnicas deportivas de las pruebas de atletismo: carreras, lanzamientos y saltos. Sin temor a equivocarnos, podemos asegurar que muchas de las pruebas se realizan según patrones motores establecidos. Por ejemplo, las carreras se realizan a través de movimientos automáticos que se encuentran grabados en el sistema nervioso. Desde el punto de vista neurofisiológico ¿en qué se diferencia la marcha atlética de una carrera de velocidad si el modelo es el mismo? En efecto, tanto el velocista como el marchador adoptan un modelo contralateral, de manera que el miembro superior de un lado se encuentra en oposición al miembro inferior del lado opuesto. De igual forma, el lanzamiento de jabalina o el de peso tienen su base neurofisiológica en patrones de contralateralidad.

En relación con los **movimientos que modifican los patrones normales de la postura** encontramos que muchas técnicas deportivas se basan principalmente en alterar en parte la respuesta neurofisiológica normal. Por ejemplo, cualquier técnica deportiva en la cual el cuerpo se encuentra en el aire intenta modificar los reflejos denominados de enderezamiento. De forma general, los reflejos de enderezamiento tienen por objeto, como su nombre indica, corregir la postura. Cuando a un animal con determinadas condiciones se le lanza desde el aire, el animal por vía refleja realiza la siguiente secuencia de movimientos: giro de la cabeza, giro del tronco y patas anteriores y giro de la pelvis y patas posteriores. Así, si el deportista ha de tomar contacto con la superficie en una determinada posición, debe modificar las reacciones reflejas normales.

La comprensión de los fenómenos neurofisiológicos de los patrones motores puede ayudar a entender los procesos de asimilación y consolidación de una determinada técnica. Con toda seguridad, la ejecución de una determinada técnica es el resultado de una perfecta coordinación entre múltiples zonas del SNC. Asimismo, también es seguro que esa misma coordinación será distinta en función del patrón motor a ejecutar. A este

primer problema se le añade el conocer cómo y dónde percibe el deportista el movimiento, todo un reto para el conocimiento humano.

A pesar de las dificultades señaladas, en este epígrafe vamos a intentar abordar su análisis partiendo de la noción de postura. La **postura** se puede definir como la relación entre las diferentes partes del cuerpo entre sí y de éstas con el espacio. La postura bípeda de los seres humanos ha tenido que pagar un coste biomecánico en relación con la cuadrúpeda, pues es menos favorable al tener una menor base de sustentación y encontrarse el centro de gravedad más elevado respecto a ésta. Neurofisiológicamente la función coordinada de los circuitos espinales y supraespinales permite el control de la postura y el movimiento. Una postura correcta posibilita la correcta ejecución de cualquier movimiento. Muchos deportes tienen como objetivo adoptar una buena postura. Por ejemplo, en la iniciación al judo se remarca especialmente que la postura sea adecuada.

Una persona mantiene la postura bípeda a través de la información aportada por los receptores musculares y cutáneos, que informan sobre la distribución del peso corporal y la situación del centro de gravedad. Cuando varía ligeramente el centro de gravedad, diferentes receptores intervienen desencadenando lo que se denominan reacciones reflejas de sostén. El judo es un buen ejemplo de estas reacciones de sostén.

Técnicas deportivas: extensión de patrones motores normales

La **marcha** es el patrón normal de movimiento, por lo que interesa conocer cómo se lleva a cabo y cómo se controla, pues constituye la raíz de la mayor parte de las técnicas deportivas. Por otra parte, desde el punto de vista neurofisiológico es un ejemplo de coordinación motriz. El gato ha sido el animal en el que se ha estudiado más profusamente la secuencia de movimientos realizados para el desplazamiento. Con independencia de la frecuencia de paso (caminando, trotando o galopando), el ciclo de movimientos corresponde a un modelo homolateral, pues se desplazan de forma consecutiva los miembros del mismo lado. La razón de este modelo no está clara, si bien parece que es el que mayor estabilidad aporta y permite un cambio de frecuencia de paso más adecuado, de forma que facilita el incremento de ésta. El modelo contralateral es propio del ser humano. La razón del cambio de modelo podría deberse a que los primates necesitaron

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

independizar los miembros superiores.

La figura 6.9 representa esquemáticamente el modelo teórico de funcionamiento para cualquier movimiento rítmico como la marcha (Calderón y Legido, 2002; Shepeherd, 1988). La alternancia flexión-extensión se localiza en las relaciones recíprocas entre las motoneuronas de los músculos agonistas y los antagonistas de las extremidades homo y contralaterales. Diferentes evidencias experimentales indican que los **generadores de ritmo** para la locomoción se encuentran localizados a lo largo de la médula espinal permitiendo actuar a través de la información aferente procedente de receptores musculares, cutáneos y articulares. La base neurofisiológica de la alternancia de los movimientos en la marcha es precisamente el reflejo flexor-extensor cruzado.

Los **centros encefálicos** controlan los generadores de ritmo a través de las vías descendentes modulando su actividad en las diferentes fases del paso. El cerebelo controla exquisitamente la activación oportuna de los centros encefálicos y además participa en la retroalimentación sensitiva, pues recibe toda la información aferente de receptores musculares, articulares y cutáneos.

Diferentes autores han estudiado la locomoción en el gato mediante secciones del tronco del encéfalo a diferentes niveles. La participación del tronco del encéfalo es fundamental para facilitar la descarga de las motoneuronas flexoras en la fase de balanceo y facilitar la descarga de las motoneuronas extensoras, cuando el miembro está extendido con el fin de actuar contra la gravedad.

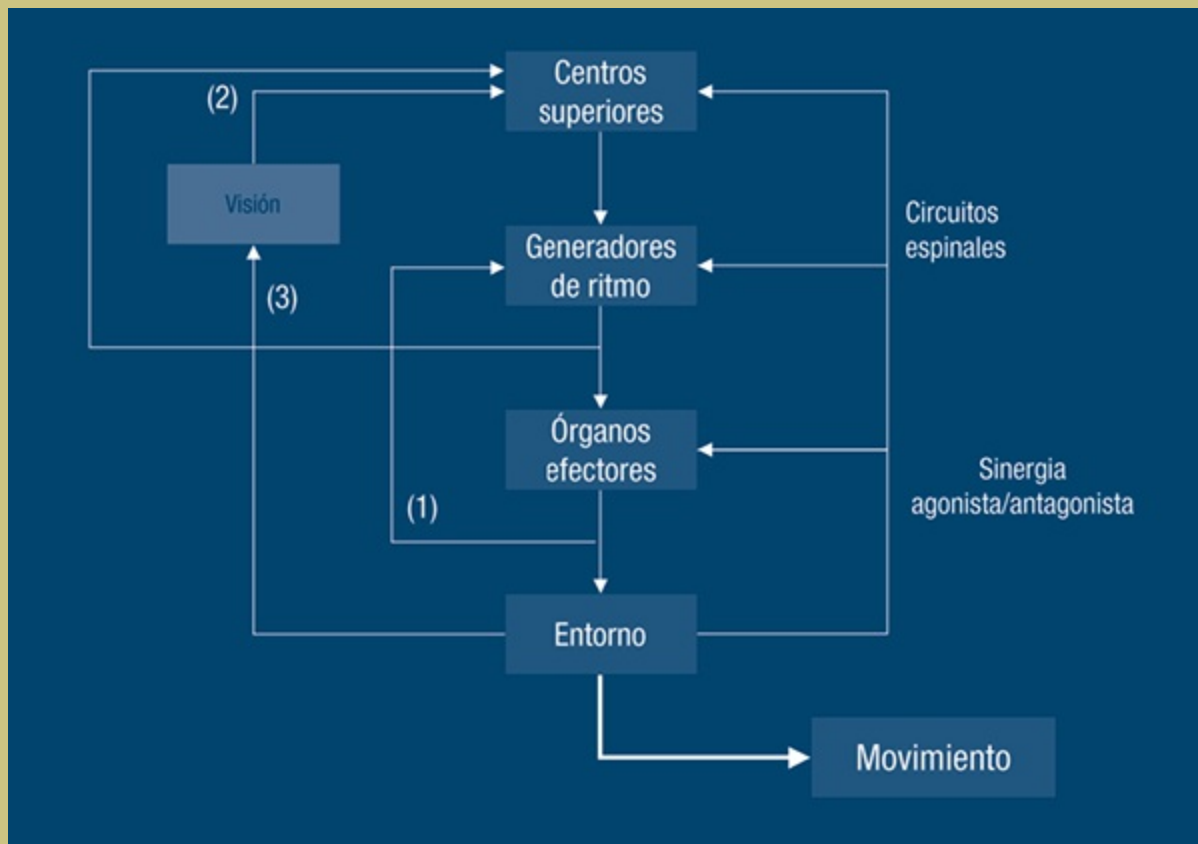


FIGURA 6.9. Modelo teórico de funcionamiento de un movimiento rítmico. (1): retroalimentación refleja; (2): retroalimentación central; (3): retroalimentación del entorno.

Original de los autores.

Una vez entendida la marcha, se pueden aplicar sus mecanismos neurofisiológicos a los **deportes que tienen su base en la marcha**. La notable diferencia de la carrera respecto a la marcha estriba en que, al aumentar los parámetros de la zancada (longitud y frecuencia) y con ello la velocidad, se produce una desviación más acusada del centro de gravedad, con una base de sustentación nula en la fase de balanceo. En efecto, el centro de gravedad sobrepasa la base de sustentación. Por tanto, el control es aún más preciso. De cualquier forma, las pautas que siguen los entrenadores para mejorar la técnica de carrera inciden en todos los niveles mostrados en la figura 6.9. Sobre los efectores: mejorar el tono muscular, tanto flexor como extensor. Sobre los **generadores de ritmo**: mejorar la coordinación segmentaria, intersegmentaria e intrasegmentaria. Sobre los **centros de control**: mejorar las condiciones que pueden cambiar una determinada forma

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de carrera.

En la figura 6.10 se representa el desplazamiento articular en la fase de contacto en un atleta olímpico y en un niño en edad escolar. Obsérvese que la manera de correr es la misma para las dos personas, de forma que el sentido de los ángulos articulares es igual. Las diferencias están en la velocidad de ejecución, la amplitud articular (sobre todo de la rodilla) y la inclinación (tabla 6.4).

Por otra parte, la técnica de los lanzamientos (peso, disco, y jabalina) puede parecer alejada del patrón de la marcha. Sin embargo, sobre todo si observamos el proceso inicial de lanzamiento de un objeto, podemos ver que el modelo de ejecución obedece al mismo que el de la marcha.

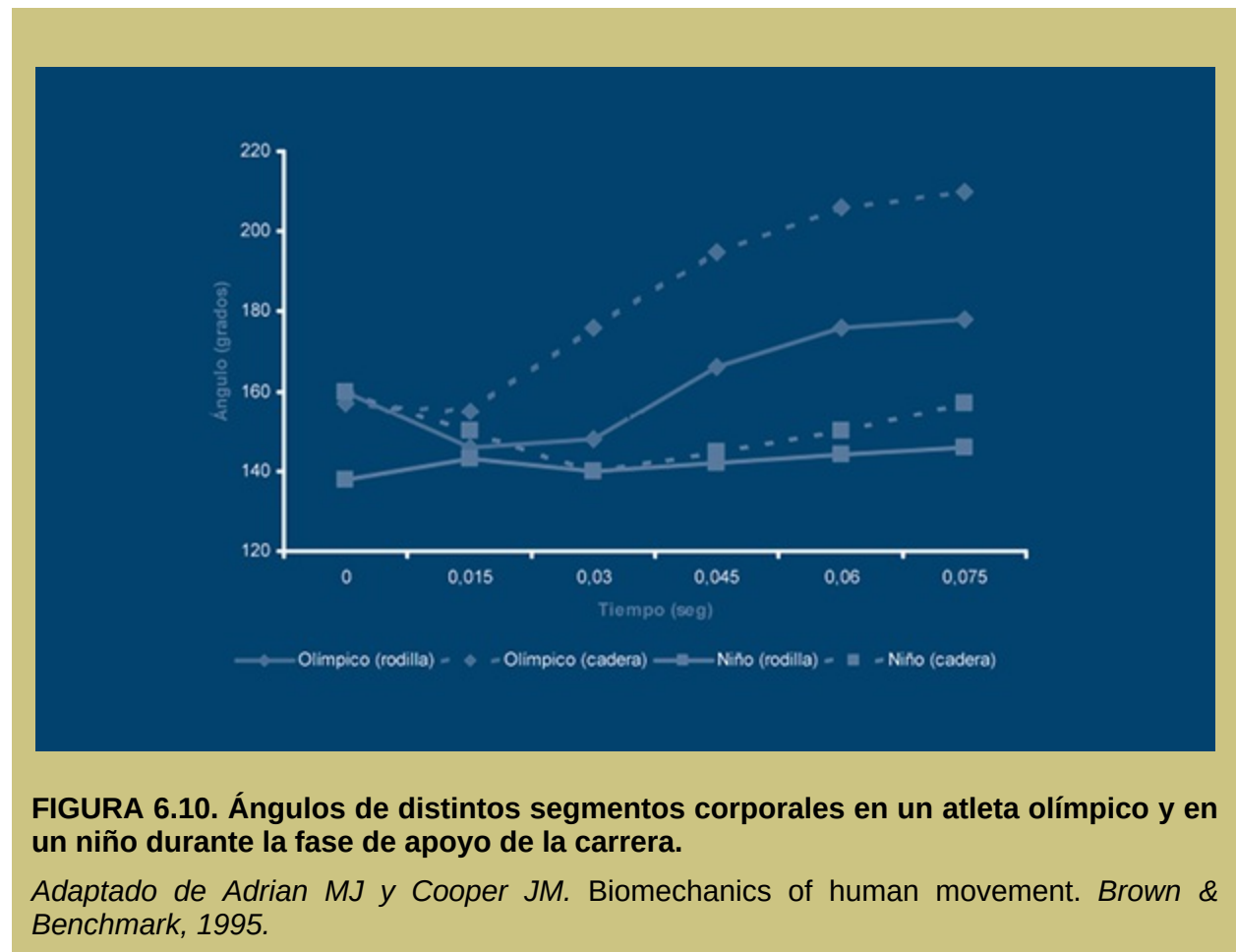


TABLA 6.4. Comparación de los movimientos articulares entre una persona entrenada y otra desentrenada

	Entrenado			Desentrenado		
	Ángulo articular	Amplitud	Tiempo (grados/seg)	Velocidad	Amplitud	Tiempo (grados/seg)
<i>Velocidad</i>						
Extensión metatarsofalángica	86	0,045	1.911	85	0,075	1.133
Extensión tobillo	73	0,045	1.622	56	0,075	746
Extensión rodilla	32	0,045	711	6	0,075	80
Extensión cadera	59	0,06	983	32	0,075	426

Adaptado de Adrian MJ y Cooper JM. Biomechanics of human movement. Brown & Benchmark, 1995.

Técnicas deportivas que modifican patrones normales de la postura

Los primates son los únicos animales que realizan movimientos que implican modificaciones de las reacciones normales que se producen para recuperar la postura. Las reacciones reflejas que se producen se denominan reflejos de enderezamiento. Para comprender cómo el ser humano alcanza tan elevados grados de modificación de los reflejos de enderezamiento, conviene describirlos, aunque sea de forma muy simple.

Diversos **reflejos de enderezamiento** se han descrito en animales y seres humanos. El origen de estos reflejos es muy diverso: aparato vestibular, receptores cervicales y receptores musculares. El aparato vestibular desencadena unos reflejos denominados tonicolaberínticos. Estos reflejos tienen dos objetivos: recuperar la postura y mantener el campo visual. Para este segundo objetivo, el conjunto formado por el aparato vestibular, núcleos vestibulares, cerebelo y formación reticular opera para restablecer la posición de la cabeza cuando ésta no se halla en su posición natural. Pero el funcionamiento del circuito no se limita al control de los músculos del cuello, sino que también opera sobre los músculos del tronco y de las extremidades. El resultado es alcanzar el primer objetivo.

La estimulación de los receptores situados en las primeras vértebras cervicales tiene efectos opuestos a los reflejos originados en el aparato vestibular. En efecto, en un animal al que se le elimina el aparato vestibular de ambos oídos internos se comprueban reacciones reflejas opuestas. Por ejemplo, cuando el animal desciende la cabeza, flexiona las patas anteriores y

extiende las posteriores. Justo lo opuesto a lo que sucede en el animal con los aparatos vestibulares intactos.

En el animal con los dos receptores íntegros (aparato vestibular y receptores cervicales) se produce una integración en los centros de control, de manera que prevalecen las reacciones reflejas que el animal requiere. Por ejemplo, si el animal desea comer y debe descender la cabeza, prevalecen los reflejos tonicocervicales.

Estas reacciones reflejas son la base para plantear lo que sucede, por ejemplo, cuando un saltador de trampolín ejecuta un salto. Probablemente, si el saltador se dejara llevar por sus reacciones reflejas caería de pie, tratando de fijar la cabeza para controlar la visión. Así pues, el dominio de la técnica de un saltador requiere **evitar reacciones reflejas inadecuadas**. De la misma manera, cuando se realiza un salto en gimnasia deportiva, con independencia de los movimientos que se llevan a cabo en el aire en menos de 2 seg, es fundamental recuperar la postura, pues ésta es una exigencia técnica valorada por los jueces.

¿Cómo y dónde se percibe el movimiento?

Sin duda es un aspecto trascendental en la mejora de la técnica deportiva: conocer la percepción de ésta. Lamentablemente, aunque desde el punto de vista neurofisiológico se ha avanzado en el conocimiento de la integración sensitivomotriz, estamos lejos de poder aplicar dicha información a la mejora de la técnica deportiva.

¿Dónde y de qué forma se procesa la información? La respuesta a esta pregunta no es simple. ¿Qué centros nerviosos procesan un conjunto de señales tan complejo? La figura 6.11 muestra una visión esquemática de la complejidad del sistema.

En un ejercicio como la carrera, el organismo debe tener información relativa al control motor, pero también sobre la situación en la que se encuentran los órganos y sistemas (cardiovascular, respiratorio y metabólico) que principalmente actúan. Cualquier corredor experimentado conoce sus sensaciones, de manera que es capaz de valorar de forma subjetiva la carga que le supone una determinada intensidad de ejercicio, como sucede al aplicar la escala de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg.

De forma didáctica, que no real, podemos dividir la percepción que experimenta un deportista en: percepción de la técnica deportiva y percepción

del medio interno. En algunos deportes, la percepción del medio interno no es relevante. Por ejemplo, cuando un saltador de trampolín ejecuta un determinado salto, el desajuste que se pueda producir, por ejemplo en su FC, no es relevante para el SNC. Por el contrario, el control del medio interno es un aspecto central para el sistema nervioso del corredor.

Percepción de la técnica deportiva. De forma general y muy simple podemos decir que el movimiento se percibe a nivel espinal, talámico y cortical. El nivel de procesamiento de la información se inicia en realidad en la propia médula espinal, que ya ofrece una clara organización somatotópica. El tálamo representa el principal lugar de relevo para que la información alcance la corteza de forma atenuada. El tálamo presenta dos tipos de núcleos: el primer grupo presenta la característica de proyectarse a una región concreta de la corteza cerebral y de recibir aferencias recurrentes de la región cortical a la que se proyecta; el segundo grupo de núcleos presenta proyecciones más difusas e influye no sólo sobre una región cortical, sino también sobre otros núcleos talámicos.

Finalmente, el mayor nivel de procesamiento de la información tiene lugar en la corteza cerebral. El resultado final es que el sistema sensorial analiza las sensaciones y el movimiento, e interviene en el mantenimiento del estado de vigilia o de alerta.

Percepción del medio interno. Es un hecho experimental comprobado que los centros para el control cardiovascular y de la temperatura se encuentran ubicados en el hipotálamo, por lo que la capacidad integradora de esta zona del SNC es fundamental. Sin embargo, los centros de control respiratorio se encuentran en la zona bulboprotuberancial, alejados del hipotálamo. En razón a este hecho y a que la regulación cardiovascular puede producirse sin el control hipotalámico, los núcleos del tronco del encéfalo también intervendrían en la coordinación neurovegetativa. Por ejemplo, la participación del núcleo del tracto solitario es fundamental en la coordinación de la actividad de los sistemas simpático y parasimpático sobre el sistema cardiovascular. Es un hecho, a pesar de la indudable participación de determinados núcleos del tronco del encéfalo, el papel del hipotálamo como centro coordinador que integra diversidad de señales, asegurando respuestas vegetativas y somáticas organizadas, coherentes y apropiadas (figura 6.12).

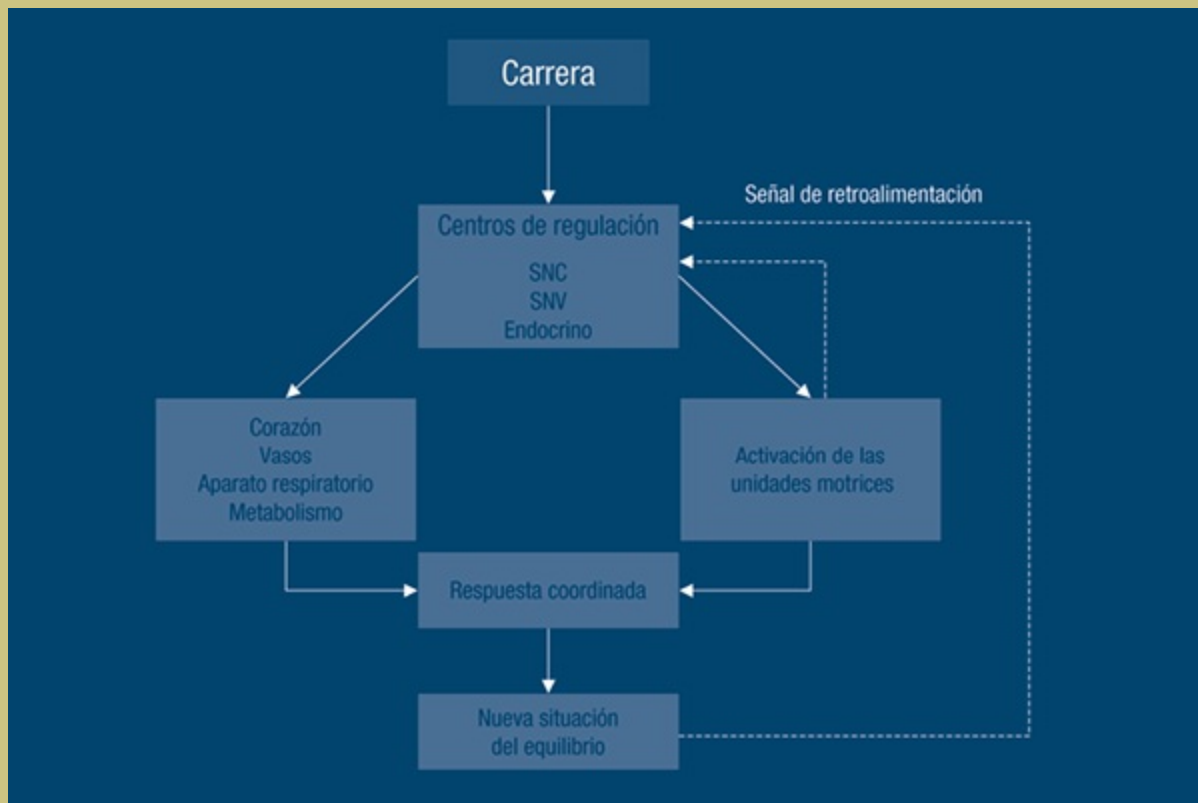


FIGURA 6.11. Organización del procesamiento de la información.

Original de los autores.

Respuesta coordinada. Una vez que la información ha sido procesada, se produce una respuesta compleja a través del sistema nervioso vegetativo, cuya intensidad se relaciona con las necesidades energéticas del organismo. La función vegetativa, al igual que la somática, se encuentra sujeta a los procesos bioeléctricos y por consiguiente a una entrada en fatiga sináptica. Sin embargo, el organismo soslaya esta posible eventualidad gracias al sistema neuroendocrino que permite mantener un elevado grado de respuesta durante un período de tiempo muy prolongado, como sucede en las pruebas de ultrarresistencia como el Ironman. Lógicamente, el incremento de la demanda energética determina una liberación de hormonas catabólicas (glucagón, catecolaminas, cortisol y tiroxina fundamentalmente) cuyo objetivo es incrementar la sensibilidad de las reacciones metabólicas alejadas del equilibrio y los ciclos metabólicos, tales como el de la glucosa/ácidos grasos.

Así pues, la respuesta coordinada una vez iniciado el ejercicio está determinada por: la sensibilidad de los centros nerviosos a la señal de retroalimentación, la velocidad con la que los centros nerviosos procesan la información y la ejecutan y la respuesta tisular a la información procesada. Lógicamente, todos estos factores dependen considerablemente del grado de adaptación. Debido a ello, la sensibilidad del barorreflejo de un atleta entrenado es mayor que la de una persona sedentaria, como pone de manifiesto la mejor recuperación cardiovascular del primero.

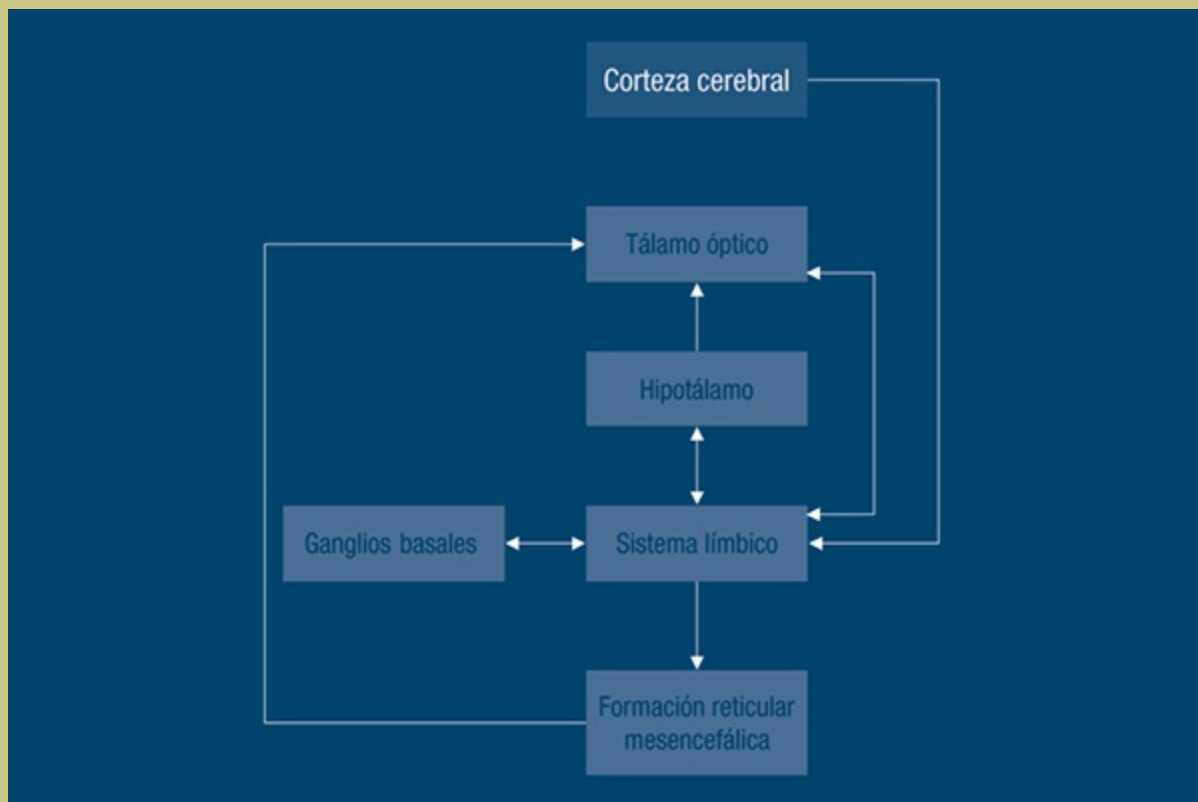


FIGURA 6.12. Esquema del control del medio interno a través del sistema límbico-hipotalámico-vegetativo.

Original de los autores.

En conclusión, a lo largo de este apartado hemos intentado desarrollar de forma muy breve la generación y el control del movimiento. Este conocimiento puede ser suficiente para que el entrenador desarrolle unas estrategias adecuadas para el aprendizaje motor e informacional. Con lo expuesto hasta ahora parece claro que el **aprendizaje de una nueva técnica**

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

o la **corrección de errores en una técnica aprendida** pasan necesariamente por una **ejecución consciente del movimiento**. Una vez adquirida esta conciencia, puede aumentarse la velocidad de ejecución hasta que ésta se ajuste a los requerimientos de la competición. Cuando este proceso de aprendizaje se efectúa de manera adecuada, se produce una **automatización del movimiento**.

Síntesis

- ▶ Existen patrones motores inherentes al ser humano cuyas instrucciones están grabadas en el SNC; sin embargo, los movimientos más complejos deben ser incorporados mediante el aprendizaje técnico.
- ▶ Todos los movimientos dependen de la compleja interrelación entre los sistemas de información, elaboración e integración de la información, y de ejecución.
- ▶ Durante la ejecución de un movimiento intervienen dos tipos de motoneuronas: las motoneuronas α encargadas de generar el movimiento y las motoneuronas γ encargadas del control del movimiento.
- ▶ La precisión y la fuerza aplicadas en la ejecución de un movimiento son dependientes de las propiedades de las unidades motrices que intervienen, de su reclutamiento y frecuencia de estimulación y de su activación asincrónica. Esto justifica que en el entrenamiento técnico haya que ajustar en la medida de lo posible la velocidad de movimiento a la que se requiere en competición.
- ▶ Durante la ejecución de un movimiento el SNC recibe información de sus características a través de diversos receptores: receptores musculares (huso muscular y órgano tendinoso de Golgi) y extramusculares (ojo, aparato vestibular, receptores cutáneos y articulares). Esto permite el control del movimiento durante su propia ejecución, exceptuando los movimientos realizados a elevada velocidad.
- ▶ La información de los receptores musculares llega a la médula espinal y simultáneamente a los centros nerviosos de coordinación, principalmente el cerebelo. La información de los receptores extramusculares alcanza el SNC sin ser analizada por la médula espinal. Ambos análisis de la información son complejos y están lejos de conocerse.
- ▶ Se considera que es a nivel de la corteza cerebral donde existen áreas

que programan y planifican el movimiento y áreas que ordenan su ejecución.

- El cerebelo y los ganglios basales son considerados las estructuras que permiten el control del movimiento. El cerebelo recibe la información de los receptores musculares y extramusculares, así como de otras estructuras centrales como la corteza motriz. Los ganglios basales reciben información exclusivamente de la corteza cerebral.
- Los ganglios basales procesan la información modulando las características del movimiento (dirección, amplitud y velocidad), evitando los movimientos indeseados. También se considera que junto con el cerebelo participan equilibrando las intenciones de la corteza motriz con el movimiento en sí mismo.
- El cerebelo, al recibir información periférica y central, actúa como sistema comparador, lo que le permite regular la postura y el movimiento, así como el control, la programación y la selección de los programas motores.
- Los patrones motores inherentes al ser humano, como es la marcha, permiten movimientos semiautomáticos; en el inicio interviene la corteza cerebral, pero posteriormente el movimiento y su control son automáticos sin necesidad de la corteza cerebral. El entrenamiento técnico permite que el deportista convierta progresivamente movimientos más complejos en semiautomáticos mediante la formación de nuevos patrones motores.
- El entrenamiento motor e informacional requiere necesariamente que el deportista sea consciente de su movimiento. Una vez adquirida esta conciencia, debe aproximarse progresivamente la velocidad de ejecución a la requerida en competición, para así automatizar el movimiento y poder dedicar las estructuras de control y programación a movimientos y situaciones más complejos.

Cuestionario de asimilación

1. Indica qué se considera un patrón motor.
2. Enumera los sistemas que determinan el movimiento.
3. Establece la relación entre los tipos de motoneuronas y su función

durante la ejecución de un movimiento.

- 4.** Enumera los factores que determinan las características de la ejecución del movimiento.
- 5.** Cita los diferentes receptores que envían información sobre el movimiento al SNC.
- 6.** Indica a qué estructuras envían la información los receptores musculares y extramusculares.
- 7.** Explica qué parte del SNC puede considerarse la más importante para la programación, la ejecución y el control del movimiento.
- 8.** Indica de dónde reciben información para el control del movimiento el cerebelo y los ganglios basales.
- 9.** Señala las funciones que tiene el cerebelo y los ganglios basales sobre el movimiento.
- 10.** En relación con la programación, la ejecución y el control del movimiento, justifica el objetivo del entrenamiento motor e informacional en el deporte.

Factores motrices e informacionales en las distintas modalidades deportivas

Alejandro Legaz-Arrese, María Teresa Gómez López, Juan José Molina Martín

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las variables que determinan en una acción motriz el grado de dificultad de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución.
- Comprender la importancia relativa de los tres mecanismos que determinan la acción motriz en las distintas modalidades deportivas y su clasificación en modalidades deportivas cerradas y abiertas.
- Comprender por qué el entrenamiento y el análisis motor e informacional de las modalidades deportivas cerradas deben basarse en un modelo biomecánico.
- Comprender por qué el entrenamiento y el análisis motor e informacional de las modalidades deportivas abiertas deben basarse en un modelo contextualizado.
- Diseñar tareas que faciliten y dificulten el nivel de entrenamiento motor e informacional de las distintas modalidades deportivas.

Índice

2.1. Mecanismos determinantes del movimiento deportivo

2.2. Nivel de exigencia de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución en las distintas modalidades deportivas

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Se ha establecido que todas las acciones motrices requieren los mecanismos de percepción, decisión y ejecución. Antes de abordar la propuesta metodológica de desarrollo de los factores motores e informacionales, es necesario en este apartado conocer las variables que determinan el nivel de dificultad que respecto a los tres mecanismos tiene una determinada acción motriz. Esto nos permitirá después realizar un análisis específico de la importancia relativa que para el rendimiento tienen los mecanismos de percepción, decisión y ejecución en las distintas modalidades deportivas. Este análisis justifica el planteamiento de una metodología de entrenamiento motor e informacional diferenciada para modalidades deportivas cerradas y abiertas.

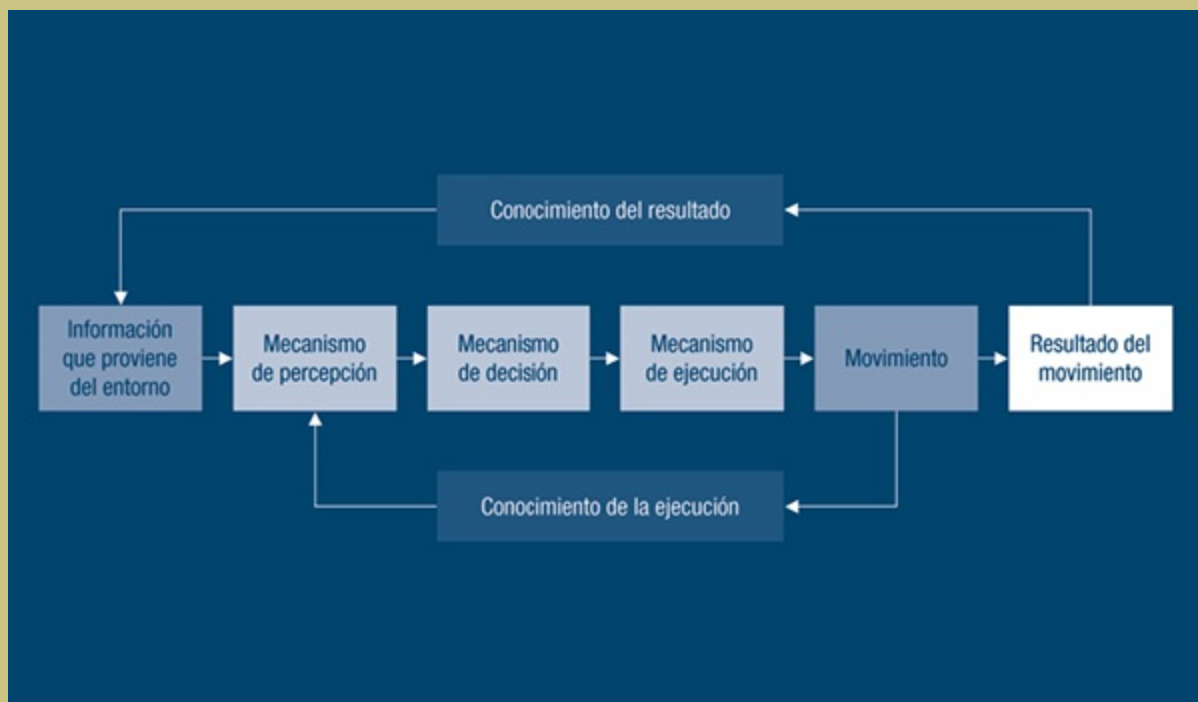


FIGURA 6.13. Esquema del modelo de ejecución motriz de Marteniuk. Toda acción motriz necesita el mecanismo de percepción para captar la información que proviene del entorno, el mecanismo de decisión para elaborar la información y decidir la acción motriz a ejecutar a través del mecanismo de ejecución. Este proceso tiene mecanismos de retroalimentación mediante el conocimiento de la ejecución y del resultado.

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Bases para una didáctica de la educación física y el

2.1. Mecanismos determinantes del movimiento deportivo

De acuerdo con el esquema del modelo de ejecución motriz de Marteniuk (figura 6.13), todo **movimiento deportivo** precisa la actuación secuencial del **mecanismo perceptivo, del mecanismo de decisión y del mecanismo de ejecución**. Sin embargo, las exigencias requeridas para cada uno de estos mecanismos difieren notablemente entre las diferentes tareas motrices y globalmente entre las diferentes modalidades deportivas.

En la tabla 6.5 se muestra la recopilación realizada por Sánchez Bañuelos (1992) sobre los criterios y la clasificación adoptados por distintos autores respecto al nivel de **dificultad del mecanismo de percepción** de una tarea motriz. En las tablas 6.6 y 6.7 se establecen, respectivamente, las variables asociadas al nivel de **dificultad del mecanismo de decisión** y las variables asociadas al nivel de **dificultad del mecanismo de ejecución**.

No es el objetivo de este apartado realizar un análisis específico de las distintas variables que determinan el nivel de dificultad de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución. Sin embargo, la forma en que se manifiestan estos mecanismos en las distintas modalidades deportivas puede ser clave para establecer distintos modelos de entrenamiento.

TABLA 6.5. Valoración del nivel de dificultad del mecanismo de percepción en las tareas motrices

	<i>Menor dificultad</i>	<i>Mayor dificultad</i>
Condiciones del entorno (Knapp, 1963)	Predominantemente habituales (entorno estable)	Predominantemente perceptivas (entorno cambiante)
Control prioritario (Poulton, 1957)	Cerradas de autorregulación	Abiertas de regulación externa
Según el estado inicial del individuo y el objeto (Fitts, 1975)	Individuo y objeto estático Objeto en movimiento, individuo estático Objeto estático, individuo en movimiento	Objeto e individuo en movimiento
Según el propósito de la tarea en relación con la movilización de objetos (Robb, 1972)	Lanzamiento a distancia Intercepción de móvil buscándonos Golpeo de objeto estático	Lanzamiento en precisión Intercepción de móvil evitándonos Golpeo de objeto en movimiento
Según el tipo de estimulación (Billing, 1980)	Pequeño número de estímulos a atender Pequeño número de estímulos presentes Baja velocidad y mucha duración del estímulo Mucha intensidad del estímulo Estímulos poco conflictivos y/o confusos	Gran número de estímulos a atender Gran número de estímulos presentes Alta velocidad, poca duración del estímulo Poca intensidad del estímulo Estímulo muy conflictivo y/o confuso

Adaptado de Neumann G y cols. Successful endurance training. Meyer & Meyer Sport 2000.

TABLA 6.6. Valoración del nivel de dificultad del mecanismo de decisión en las tareas motrices

	<i>Menor dificultad</i>	<i>Mayor dificultad</i>
Número de decisiones	Escaso número de decisiones	Gran número de decisiones
Número de alternativas en el propósito de la tarea	Propósito único	Multiplicidad de propósitos
Número de propuestas motrices alternativas en cada decisión	Propuesta motriz única	Multiplicidad de propuestas motrices
Velocidad requerida en la decisión	Mucho tiempo para decidir	Tiempo de decisión muy breve
Nivel de incertidumbre	Los factores en que se basa la decisión son fijos	Los factores en que se basa la decisión son variables
Nivel de riesgo	La decisión no comporta riesgo físico	La decisión comporta riesgo físico
Orden de secuencia de las decisiones	Orden fijo de la secuencia motriz	Orden variable de la secuencia motriz
Número de elementos que es necesario recordar	Pocos elementos para memorizar y recordar	Muchos elementos para memorizar y recordar

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Bases para una didáctica de la educación física y el deporte. Gymnos, 1992.

TABLA 6.7. Valoración del nivel de dificultad del mecanismo de ejecución en las tareas motrices

	<i>Menor dificultad</i>	<i>Mayor dificultad</i>
Coordinación neuromuscular	Pocos grupos musculares implicados en el movimiento Estructura del movimiento simple Poca exigencia de rapidez en la ejecución Poca exigencia de precisión en la ejecución	Muchos grupos musculares implicados en el movimiento Estructura del movimiento compleja Mucha exigencia de rapidez en la ejecución Mucha exigencia de precisión en la ejecución
Condición física	Poca exigencia de resistencia Poca exigencia de fuerza Poca exigencia de velocidad Poca exigencia de flexibilidad	Mucha exigencia de resistencia Mucha exigencia de fuerza Mucha exigencia de velocidad Mucha exigencia de flexibilidad

Adaptado de Sánchez Bañuelos F. Bases para una didáctica de la educación física y el deporte. Gymnos, 1992.

2.2. Nivel de exigencia de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución en las distintas modalidades deportivas

Con el fin de analizar las características de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución, establecemos una clasificación de las distintas modalidades deportivas en función de su similitud en los factores de rendimiento: esfuerzos continuos, esfuerzos acíclicos puros, deportes de combate, deportes de raqueta, deportes de equipo de interacción directa, deportes de equipo de interacción indirecta, deportes compositivos, deportes de precisión y deportes de motor.

Esfuerzos continuos. Caracterizados por la repetición sucesiva de un mismo ciclo de movimiento. Engloban una gran variedad de modalidades deportivas de carrera, marcha, ciclismo, remo, piragüismo, natación, esquí de fondo, etc. El rendimiento en estas modalidades deportivas está determinado fundamentalmente por el potencial de los deportistas en los procesos fisiológicos asociados a la duración de la competición y por la ejecución eficiente del movimiento, especialmente en situación de fatiga. La importancia relativa del mecanismo de percepción y decisión es menor debido a la poca variabilidad de estímulos que se suceden en la competición, limitándose básicamente a la decisión de estrategias en el ritmo de competición en función de las sensaciones propias y de la actuación de los

rivales. La principal fuente de información en estas modalidades deportivas es el propio pensamiento del deportista en el transcurso de la competición, especialmente en las competiciones de larga duración, aspecto que debe considerarse relevante en el marco de la optimización de los procesos psicológicos.

Esfuerzos acíclicos. Caracterizados por la ejecución de un movimiento con una fase inicial y una final claramente definidas. Están incluidas básicamente las modalidades deportivas de saltos y lanzamientos. En estas modalidades deportivas, la variación de estímulos es todavía menor que en los esfuerzos continuos, considerándose la principal fuente de información determinante del rendimiento el propio pensamiento del deportista, destacándose la importancia de la optimización de los procesos psicológicos. El rendimiento depende básicamente del potencial del deportista en la aplicación de fuerza explosiva durante una secuencia motriz claramente definida, que en determinadas acciones requiere una gran amplitud de movilidad articular.

Deportes de combate. Se caracterizan por la lucha contra un rival. Comprenden una gran variedad de modalidades deportivas como lucha, judo, karate, taekwondo, esgrima, etc. En el análisis de la resistencia se han incluido los deportes de combate como esfuerzos intermitentes, caracterizados, dependiendo del deporte y de la acción motriz, por la manifestación de fuerza explosiva y fuerza resistencia isométrica y la capacidad de resistencia a ambas manifestaciones de fuerza. Además, determinadas acciones motrices requieren un grado elevado de movilidad articular. La ejecución motriz debe considerarse un factor determinante del rendimiento. Sin embargo, a diferencia de en los esfuerzos continuos y acíclicos, se requiere el dominio de una amplia variedad de acciones motrices que deben seleccionarse y ejecutarse en función del continuo cambio de situaciones que establece el contexto de la competición. Esto determina simultáneamente un nivel de exigencia elevado de los mecanismos de percepción y decisión. Respecto al mecanismo de percepción, la principal dificultad está determinada por la alta velocidad con la que se suceden los estímulos y porque numerosos estímulos tienen como fin confundir al rival. Respecto al mecanismo de decisión, el nivel de dificultad lo determinan el poco tiempo para decidir, la variedad de acciones motrices que es posible seleccionar para cada situación y especialmente el nivel de riesgo que sobre el resultado final tiene una decisión incorrecta o correcta. Para los tres

mecanismos, la dificultad aumenta en situación de fatiga.

Deportes de raqueta. Caracterizados por la competición contra un rival mediante golpes a una pelota con una raqueta. Comprende modalidades deportivas como tenis, tenis de mesa, pádel, squash, bádminton y frontón. Aunque con diferente relación trabajo/pausa, al igual que los deportes de combate, en los deportes de raqueta el rendimiento es dependiente de la fuerza explosiva y la resistencia a la fuerza explosiva. Igualmente, se requiere la ejecución de diferentes acciones motrices en función de la situación cambiante de la competición. Ésta determina la importancia de los mecanismos de percepción y decisión, con mayor o menor nivel de exigencia dependiendo de la modalidad deportiva. Globalmente, en relación con los deportes de combate, no se observa dificultad máxima para ninguna de las variables que determinan el nivel de exigencia de los mecanismos de percepción y decisión debido a que la velocidad de los estímulos es menor, hay más tiempo para decidir y una decisión incorrecta no tiene la misma influencia sobre el rendimiento. Igualmente, el nivel de fatiga determina un mayor nivel de dificultad para los tres mecanismos.

Deportes de equipo de interacción directa. Caracterizados por la colaboración de compañeros formando un equipo para la consecución de un objetivo mediante el manejo de un móvil, teniendo que superar la oposición de otro equipo que comparte el mismo espacio de competición. Forman parte de esta categoría modalidades deportivas como fútbol, fútbol sala, rugby, baloncesto, balonmano, waterpolo y las distintas modalidades de hockey. Estos deportes se caracterizan por la necesidad de resistencia a distintas manifestaciones de fuerza, y en algunos deportes se requiere la ejecución de acciones con una amplitud del movimiento articular (ADM). De forma equivalente a los deportes de combate y de raqueta, las acciones motrices se suceden en función de la gran variabilidad de situaciones que determina la competición. Esto implica un alto nivel de exigencia de los mecanismos de percepción y decisión. La presencia de compañeros y rivales es el principal factor diferenciador de estos deportes, lo que incrementa en relación con otras modalidades deportivas la exigencia del número de estímulos que es necesario atender y la variedad de respuestas motrices que pueden ser adecuadas en cada situación. Aunque la importancia de cada decisión sobre el rendimiento no es comparable a la descrita para los deportes de combate, hay que destacar que el tiempo de toma de decisión es corto y que muchos

estímulos tienen como fin confundir al rival.

Deportes de equipo de interacción indirecta. Se caracterizan por la colaboración de compañeros formando un equipo para la consecución de un objetivo mediante el manejo de un móvil, teniendo que superar la oposición de otro equipo que no comparte el mismo espacio de competición. El voleibol es la modalidad deportiva que mejor define esta categoría, que puede incluir variantes de otras modalidades como el tenis por parejas. Los factores que determinan el rendimiento en estos deportes son equivalentes a los descritos en los deportes de equipo de interacción directa. Sin embargo, al no compartir el mismo espacio los dos equipos, la secuencia de acciones motrices está mucho más estructurada, disminuyendo simultáneamente el nivel de dificultad de las distintas variables que determinan la exigencia de los mecanismos de percepción y decisión. Además, de forma equivalente a lo establecido para otras modalidades deportivas, el nivel de fatiga incrementa la dificultad de los tres mecanismos.

Deportes compositivos. Se caracterizan por la ejecución sucesiva de acciones motrices diferentes en una secuencia establecida previamente a la competición. Comprende modalidades deportivas como la gimnasia rítmica, la gimnasia deportiva, la natación sincronizada, el aeróbic, el patinaje artístico, etc. Estas modalidades deportivas requieren un alto nivel de exigencia en la manifestación de fuerza, de resistencia a la fuerza y de movilidad articular. El rendimiento está determinado por la valoración subjetiva de los jueces sobre la base de la correcta ejecución de la secuencia de acciones motrices que determinan la composición del ejercicio global. La ejecución debe seguir estrictamente la composición previamente establecida, no requiriéndose respuestas motrices diferentes en función de estímulos que varían en la competición, lo que determina un nivel de exigencia bajo de los mecanismos de percepción y decisión.

Deportes de precisión. Caracterizados por dirigir un disparo o tiro con la mayor precisión posible hacia una diana. Comprenden, por ejemplo, las modalidades de tiro con arco y con diferentes pistolas y escopetas. En estas modalidades deportivas no existe variación de los estímulos de competición, por lo que la precisión de la ejecución es el factor determinante del rendimiento.

Deportes de motor. Caracterizados por conducir un vehículo de motor más

rápido que otros competidores sobre un circuito previamente establecido. Comprenden gran variedad de modalidades deportivas que requieren la conducción de diferentes tipos de motos, coches y camiones. La precisión de la ejecución de la conducción es el principal factor determinante del rendimiento en los deportes de motor. Además, globalmente la ejecución adecuada está determinada previamente debido a que en la mayoría de estos deportes el circuito se conoce previamente. Sin embargo, las condiciones del circuito pueden variar fundamentalmente debido a causas meteorológicas, y además hay que considerar que la competición es simultánea y en consecuencia la conducción debe adaptarse a las acciones realizadas por los restantes competidores. Ambos factores determinan un cierto nivel de exigencia de los mecanismos de percepción y decisión. Varias líneas generales son deducibles del análisis de la exigencia de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución en las distintas modalidades deportivas. Todas las modalidades deportivas que requieren un alto nivel de exigencia del mecanismo de percepción se caracterizan por un alto nivel de exigencia del mecanismo de decisión. Esto justifica el modelo básico de factores a desarrollar en el proceso de entrenamiento deportivo propuesto en este manual (véase la figura 1.4), en el que ambos mecanismos están unificados en el contexto de desarrollo de los factores de rendimiento informacionales, considerándose como la información que el deportista requiere percibir y procesar para seleccionar la respuesta motriz adecuada. En todas las modalidades deportivas, aunque en un contexto diferente, parte de la información que procesa el deportista no procede directamente de estímulos externos, sino de lo que él mismo se dice, destacando la importancia de la optimización de los procesos psicológicos, objeto de estudio del capítulo 7. Se destaca también que para la mayoría de las modalidades deportivas el nivel de dificultad de los tres mecanismos aumenta como consecuencia de la fatiga, lo que indica la necesidad de establecer como factores de rendimiento la optimización de los procesos motores e informacionales en situación de pre y posfatiga. Por último, se observa una clara diferenciación entre las modalidades deportivas que se desarrollan en un entorno estable (**modalidades deportivas cerradas**), donde el rendimiento está determinado principalmente por factores condicionales y por la ejecución precisa y eficiente de la acción motriz caracterizada por una secuencia definida (esfuerzos continuos, esfuerzos acíclicos, deportes compositivos y deportes de precisión), y las modalidades deportivas que se desarrollan en un entorno

variable (**modalidades deportivas abiertas**) que determina una elevada variabilidad de las acciones motrices a ejecutar y de su secuencia, y simultáneamente un alto nivel de exigencia de los mecanismos de percepción y decisión (deportes de combate, deportes de raqueta, deportes de equipo de interacción directa e indirecta y deportes de motor).

Esta diferenciación justifica desde nuestra perspectiva un enfoque diferente de la **metodología del entrenamiento** de los factores motores e informacionales: el **modelo biomecánico** y el **modelo contextualizado**, respectivamente, para las modalidades deportivas cerradas y abiertas.

Síntesis

- ▶ Todos los movimientos deportivos requieren la actuación secuencial de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución.
- ▶ Las modalidades deportivas que necesitan un esfuerzo continuo, un movimiento acíclico, la reproducción de una composición o un alto nivel de precisión se consideran modalidades cerradas debido a que se desarrollan en un entorno estable y previamente conocido, donde la principal fuente de información es el propio pensamiento del deportista. La variabilidad del rendimiento en estas modalidades deportivas depende fundamentalmente del mecanismo de ejecución mediante la aplicación eficiente del potencial del que dispone el deportista.
- ▶ Los deportes de equipo, de raqueta y de combate se consideran modalidades abiertas porque se desarrollan en un entorno continuamente variable. La variabilidad del rendimiento depende de que se ajuste adecuadamente la ejecución a las continuas modificaciones de la información en situación de pre y posfatiga.
- ▶ En las modalidades deportivas cerradas, el entrenamiento motor e informacional debe ajustarse a un modelo biomecánico con el objetivo de que el deportista manifieste eficientemente el potencial del que dispone.
- ▶ En las modalidades deportivas abiertas el entrenamiento motor e informacional debe ajustarse a un modelo contextualizado con el objetivo de que el deportista ajuste la ejecución a las continuas modificaciones de información características del contexto de competición.

Cuestionario de asimilación

1. Establece la secuencia de manifestación de los distintos mecanismos que determinan una acción motriz.
2. Indica con qué término se ha englobado a los mecanismos de percepción y decisión.
3. Define las variables que determinan la dificultad perceptiva de una acción motriz o modalidad deportiva.
4. Explica las variables que determinan la dificultad de decisión de una acción motriz o modalidad deportiva.
5. Señala las características que determinan que una modalidad deportiva sea considerada cerrada o abierta.
6. Establece la importancia relativa de los distintos mecanismos de la acción motriz en las modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de un esfuerzo continuo.
7. Define la importancia relativa de los distintos mecanismos de la acción motriz en las modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de un movimiento acíclico.
8. Establece la importancia relativa de los distintos mecanismos de la acción motriz en las modalidades deportivas caracterizadas por la ejecución de una composición de movimientos previamente establecidos.
9. Señala la importancia relativa de los distintos mecanismos de la acción motriz en los deportes de equipo, de combate y de raqueta.

Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas cerradas

Ignacio Grande Rodríguez, Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los objetivos de estudio de la biomecánica deportiva y de sus subdisciplinas.
- Comprender la importancia de determinar el modelo biomecánico en las modalidades deportivas cerradas.
- Comprender las diferencias entre el modelo biomecánico de una modalidad deportiva y el modelo biomecánico individual.
- Comprender la importancia del análisis biomecánico cualitativo y cuantitativo como referencia de la reorientación del entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas cerradas.
- Conocer las aplicaciones de los análisis biomecánicos cualitativos, y los instrumentos y capacitación requerida.
- Conocer las aplicaciones de los análisis biomecánicos cuantitativos, y los instrumentos y capacitación requerida.
- Reflexionar sobre los análisis biomecánicos cualitativos y cuantitativos más apropiados para las distintas modalidades deportivas.

Índice:

- 3.1. Modalidades deportivas cerradas y biomecánica
- 3.2. Aplicación de la biomecánica al aprendizaje de la técnica en modalidades deportivas cerradas I: el modelo técnico ideal
 - El análisis biomecánico cualitativo

El análisis biomecánico cuantitativo

3.3. Aplicación de la biomecánica al aprendizaje de la técnica en modalidades deportivas
cerradas II: fuente de información

Síntesis

Cuestionario de asimilación

En las modalidades deportivas cerradas lo esencial es la correcta ejecución del movimiento. En este apartado enseñamos inicialmente la importancia que tiene la biomecánica para optimizar el rendimiento en estas modalidades deportivas. Con este objetivo es necesario establecer el modelo técnico ideal de las distintas acciones motrices, que permite, mediante el continuo análisis biomecánico, disponer de información útil para reorientar el entrenamiento. Se aborda el aprendizaje de este proceso mostrando ejemplos de referencia sobre la aplicabilidad que para las distintas modalidades deportivas tienen los análisis biomecánicos cualitativos y cuantitativos.

3.1. Modalidades deportivas cerradas y biomecánica

Introduciremos este apartado haciendo referencia a la diferenciación entre las habilidades o tareas abiertas y las cerradas. Esta diferencia se establece en función de las condiciones de estabilidad o inestabilidad del entorno en las que se desarrollan las habilidades o tareas motrices (Poulton, 1957). Dependiendo de que la tarea se realice en un entorno cambiante o estable, hablaremos de habilidad o tarea abierta o cerrada, respectivamente. En este mismo sentido, Knapp (1963) clasifica las habilidades en dos categorías: predominantemente perceptivas o predominantemente habituales. En las predominantemente perceptivas un sujeto está influido en su ejecución por los cambios que se producen en el entorno, y las podemos identificar con las habilidades que Poulton (1957) clasificó como abiertas.

En un plano de caracterización más amplio, Parlebas (1989) establece como criterios básicos en los que se basa la clasificación de las situaciones motrices el individuo, el entorno físico y los demás participantes. Así, los deportes individuales de carácter cerrado serían categorizados como prácticas en las que no existe incertidumbre del entorno físico y no existe comunicación motriz con el compañero ni con el adversario (Parlebas, 1989).

En este apartado haremos referencia a las modalidades deportivas con predominio de tareas o habilidades cerradas: modalidades deportivas cerradas. Hemos de restringir el término **modalidades deportivas cerradas** a

las modalidades en las que la ejecución del movimiento está controlada de una manera predominante por los circuitos de *feedback* de carácter interno, información sensorial de carácter propioceptivo, como son la halterofilia, la gimnasia artística o el lanzamiento de peso (Oña *et al.*, 1999), modalidades en las que las condiciones del entorno son supuestamente estables y, por tanto, previsibles para el deportista.

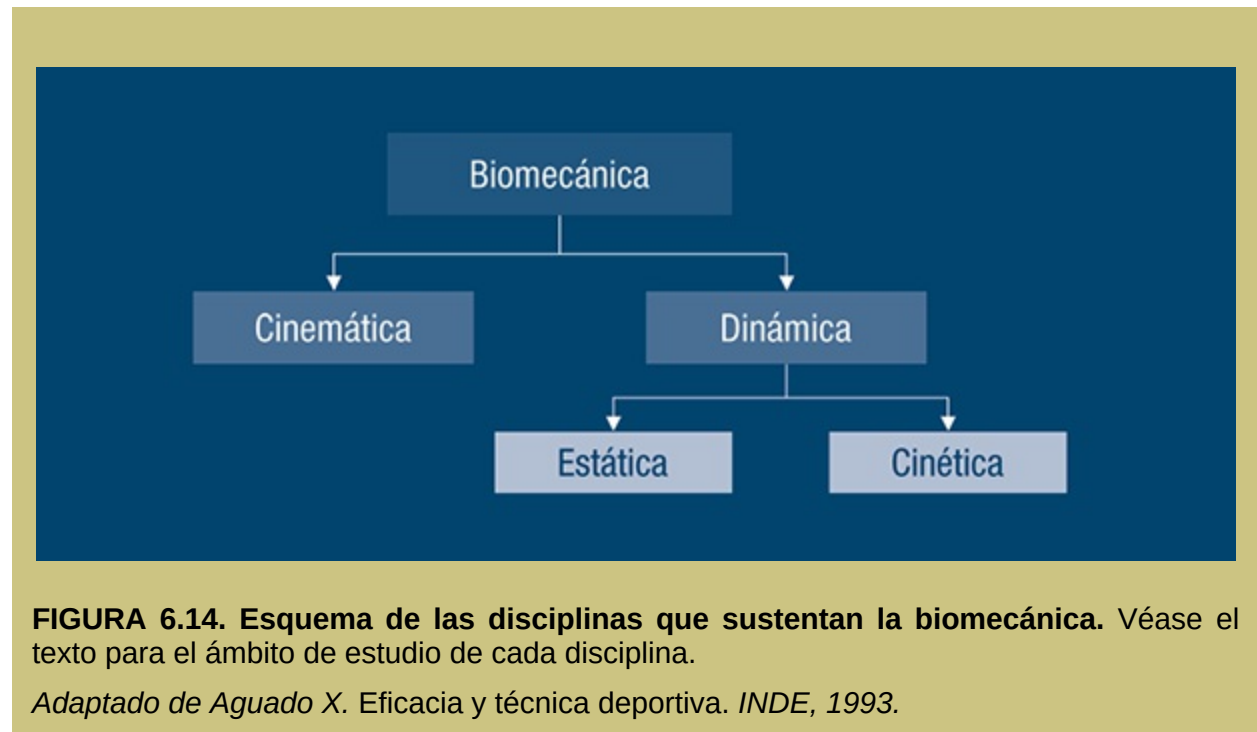
En este tipo de modalidades deportivas cerradas lo esencial es la **correcta ejecución del movimiento**, y la biomecánica proporciona las herramientas idóneas para su análisis y mejora. El análisis biomecánico del movimiento deportivo ayudará al deportista a optimizar su ejecución motriz. Es por ello por lo que a continuación analizaremos de forma específica la aplicación de la biomecánica al proceso de aprendizaje y mejora de los factores motores e informacionales del deportista.

Originariamente, la **biomecánica** fue entendida como la ciencia de las leyes del movimiento mecánico en los seres vivos (Donskoi y Zatsiorski, 1988). Definiciones más actuales presentan la biomecánica como la ciencia que utiliza los principios y métodos de la mecánica (parte de la física) para el estudio de los seres vivos teniendo en cuenta las peculiaridades de éstos (Aguado, 1993).

La biomecánica suele ser dividida, al igual que la mecánica, en cinemática y dinámica. La **cinemática** describe el movimiento de un cuerpo situándolo en el espacio y detallando el tipo de movimiento basándose en el tipo de desplazamiento, velocidad o aceleración que se produce en su desplazamiento. Cuando el movimiento o la falta de éste se relaciona con la fuerza o fuerzas que provocan esta situación, nos encontraremos dentro del campo de la dinámica. La **dinámica** se subdivide en dos campos en función de si el estudio de fuerzas se realiza sobre un cuerpo en situación de movimiento (cinética) o en ausencia de movimiento (estática) (figura 6.14).

La biomecánica presenta varios campos de actuación: medicina, educación, campo ocupacional y deporte. En el caso específico de la **biomecánica del deporte**, se aplican las leyes de la mecánica a los movimientos realizados en la práctica de la actividad física y el deporte con el objetivo principal de mejorar el rendimiento del deportista (Bartlett, 1999). La optimización del rendimiento deportivo mediante los estudios y análisis realizados desde la perspectiva biomecánica se puede atribuir a: (i) una mejora alcanzada en la realización del movimiento del deportista atribuible a la optimización del modelo técnico del deportista (p. ej., optimizar el ángulo de salida [°] del

lanzador de peso); (ii) la mejora del material utilizado (p. ej., utilización de materiales más ligeros y resistentes en la bicicleta del ciclista), y (iii) la optimización de los equipamientos utilizados (p. ej., optimización de la elasticidad de la superficie de juego en el tenis).



Si nos referimos al caso específico de un incremento del rendimiento mediante la mejora del movimiento o la realización técnica del deportista, puede considerarse que la biomecánica del deporte persigue que el sujeto alcance el mayor grado de eficiencia del potencial individual de que dispone (figura 6.15), o, lo que es lo mismo, la optimización del modelo técnico del deportista.



FIGURA 6.15. Relación de la biomecánica con la optimización del rendimiento deportivo. El objetivo de la biomecánica es que el deportista aproveche eficientemente el potencial de que dispone y, como consecuencia, mejore su rendimiento.

Original de los autores.

En este apartado nos ocuparemos de la primera vía para mejorar el rendimiento del deportista: la **optimización del modelo técnico**. Pero la mejora de este modelo técnico puede realizarse de dos formas. Nitsch *et al.*, (2002) determinan dos vías en las que la biomecánica sirve para mejorar estos procesos de entrenamiento y del modelo técnico del deportista: (i) **valor ideal de la técnica**: determinar, a partir del análisis de modelos técnicos individuales, patrones óptimos generales que constituyan el modelo técnico ideal de la disciplina analizada, y (ii) **sistema de *feedback***: la biomecánica posee las herramientas para proporcionar información cinemática o dinámica al deportista de forma inmediata o retardada. Mejorando la calidad del *feedback* optimizamos el proceso de aprendizaje y la mejora de la técnica. A continuación trataremos estas dos aplicaciones de la biomecánica que tienen como objetivo mejorar los factores motores e informacionales en modalidades deportivas cerradas.

3.2. Aplicación de la biomecánica al aprendizaje

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

de la técnica en modalidades deportivas cerradas I: el modelo técnico ideal

La optimización del proceso de entrenamiento de la técnica en este tipo de modalidades deportivas cerradas ha partido de la idea de la existencia de un modelo biomecánico o modelo técnico ideal que debía ser estudiado, analizado, descrito, enseñado y aprendido. Así, la biomecánica aplicada al deporte de competición ha tenido como uno de sus principales objetivos analizar y establecer las características que determinan el éxito de la realización de un movimiento técnico específico. Del estudio de las actuaciones más exitosas de los deportistas de una determinada especialidad se extraen patrones de movimientos que configuran el **modelo biomecánico o modelo técnico ideal** (MTI), que muestran las características cinemáticas y dinámicas idóneas a conseguir en el proceso de aprendizaje técnico del deportista.

La técnica deportiva se define actualmente como la secuencia específica de movimientos puestos en práctica para resolver las tareas motrices en las situaciones deportivas. A partir de las experiencias realizadas en el campo del deporte de alto nivel y de las leyes de la física que rigen el movimiento, se elabora una forma estándar de realizar un movimiento: modelo técnico ideal (Unisport, 1992).

Este modelo **prescinde de atletas concretos** (Neumaier y Ritzdorf, 1996). El modelo técnico ideal se deriva de las experiencias de la práctica, de las reflexiones teóricas y de los resultados de los estudios científicos sobre las características de los deportistas de alto nivel. Es muy importante tener en cuenta que éste no debe considerarse como un modelo fijo y cerrado, sino que debe ser flexible ante constantes progresos y mejoras.

En el proceso de aprendizaje y perfeccionamiento técnico, el deportista incorpora particularidades individuales al modelo técnico ideal. Éste es adaptado por cada atleta en función de sus propias características, obteniendo como resultado un **modelo técnico individual** que contiene los elementos principales y generales del modelo técnico ideal (García *et al.*, 1996; Neumaier y Ritzdorf, 1996; Bompa, 1990; Ozolín, 1988; Grosser y Neumaier, 1986).

Este modelo técnico individual se caracteriza por la **utilización eficaz de las características de cada deportista** para alcanzar el resultado deportivo (Matvéev, 1985). El modelo técnico individual es único y sólo puede ser

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

reproducido por sujetos que posean unas similares características.

El nivel de definición o de concreción del modelo biomecánico de referencia varía notablemente en las distintas disciplinas, dependiendo de diversos factores como el nivel de desarrollo y, muy especialmente, las posibilidades de estandarización de las acciones técnicas y de las situaciones competitivas en las que se ejecutan (las modalidades deportivas cerradas o con técnica regular presentan superiores posibilidades de medición/objetivación que los deportes con técnica variable) (Morante, 2004). Por ello, actualmente, por medio de la biomecánica del deporte se conocen los aspectos determinantes del rendimiento de las modalidades deportivas cerradas, estableciéndose modelos biomecánicos de referencia. La investigación continuada permite mejorar los modelos biomecánicos y adaptarlos a las características de cada deportista. En ocasiones es el propio talento del deportista el que modifica el modelo biomecánico de referencia.

Una forma bien definida de crear un modelo biomecánico consiste en la elaboración de una secuencia de eventos en forma de niveles, de manera que los inferiores expliquen los superiores (Hay, 1993). En este sentido, el **modelo biomecánico** es una **jerarquización de los factores que intervienen en el gesto**. Estos modelos biomecánicos pueden complementarse con información detallada escrita y/o visual del orden y la secuencia de los movimientos, así como con datos específicos de tiempos, velocidades, trayectoria del centro de gravedad o fuerzas aplicadas que caracterizan el movimiento de los mejores deportistas de la especialidad.

Como **ejemplo de movimiento acíclico**, en la figura 6.16 se representa el modelo biomecánico establecido para el lanzamiento de peso. El rendimiento en los lanzamientos está determinado básicamente por la altura de salida (h_0), velocidad de salida (V_0) y ángulo de liberación (α_0) del implemento, que a su vez depende de otros subfactores.

Como **ejemplo de movimiento cíclico**, en la figura 6.17 se representa el modelo biomecánico establecido para las carreras de velocidad. Básicamente el rendimiento es dependiente de la longitud y frecuencia de paso.

Debemos indicar que en ocasiones el modelo biomecánico incluye también la influencia de la resistencia al avance en el medio del deportista (natación) o del artefacto (lanzamiento de jabalina). Así, por ejemplo, en la natación el modelo biomecánico incluye la flotabilidad del nadador determinada por la fuerza que ejerce su peso corporal y el empuje hidrostático, las fuerzas propulsivas y la resistencia que ejerce el agua. En el ciclismo, el modelo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

biomecánico incluye, además de las fuerzas propulsivas, que determinan la fuerza ejercida por el ciclista sobre el sillín, el manillar y especialmente sobre los pedales, y los parámetros de eficacia en la aplicación de la fuerza que relaciona la óptima combinación de frecuencia de pedaleo, las fuerzas de resistencia opuestas al desplazamiento, que incluyen la fuerza de rozamiento de la rueda con el suelo y la fuerza ejercida por el aire o rozamiento aerodinámico. Actualmente, el lector interesado puede encontrar en los manuales técnicos y en la literatura científica el modelo biomecánico o modelo técnico ideal establecido para las distintas modalidades deportivas cerradas.

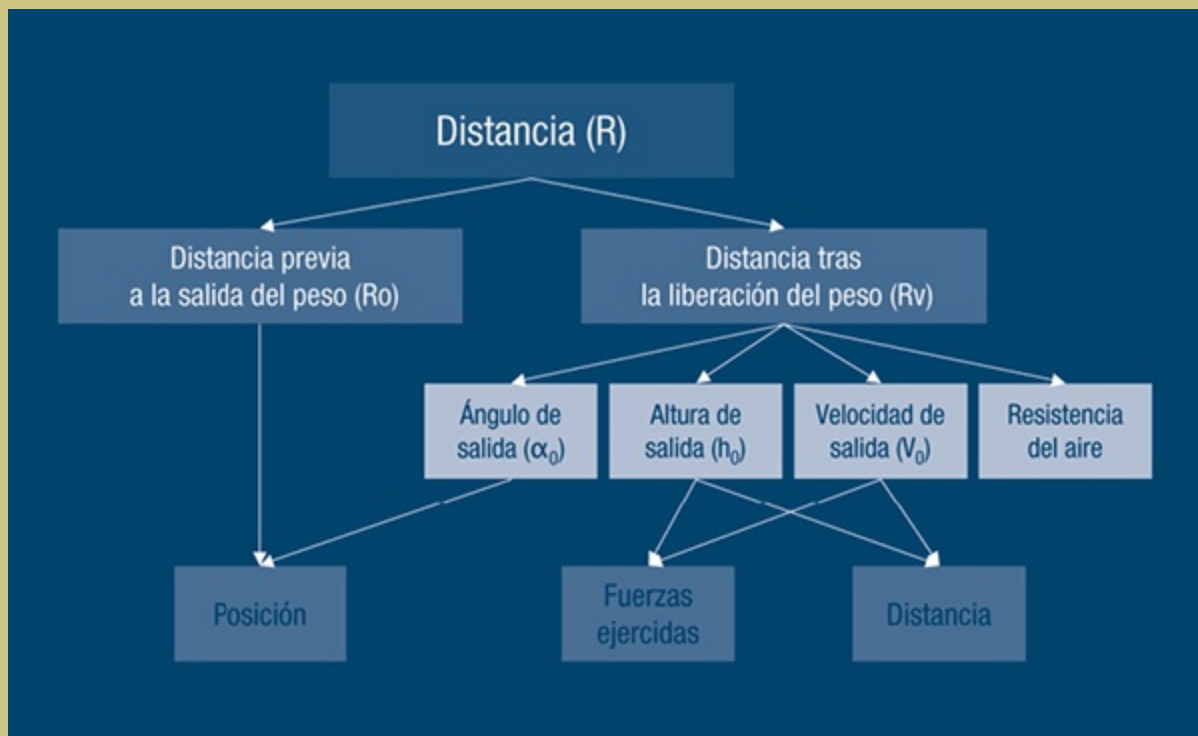


FIGURA 6.16. Ejemplo de modelo biomecánico en un movimiento acíclico: lanzamiento de peso. Un modelo biomecánico considera inicialmente los factores generales que determinan el rendimiento y la estructuración de estos factores en los aspectos concretos que definen su rendimiento.

Adaptado de Hay J6. The biomechanics of sports techniques. Prentice Hall, 1973.

El **entrenamiento motor** en las modalidades deportivas cerradas pretende mejorar la eficiencia del deportista mediante la **corrección sucesiva de los errores respecto al modelo biomecánico** de referencia. La información

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

acerca de los errores cometidos, tanto intrínseca como extrínseca, es esencial para que se produzca aprendizaje (Sánchez y Delgado, 2003).



FIGURA 6.17. Ejemplo de modelo biomecánico en un movimiento cíclico: carreras de velocidad. Obsérvense nuevamente los factores generales que determinan el rendimiento (longitud y frecuencia de paso) y la estructuración de estos factores en los aspectos concretos que definen su rendimiento.

Adaptado de Hay J6. The biomechanics of sports techniques. Prentice Hall, 1973.

Un rendimiento inadecuado puede ser originado por deficiencias de la fuerza (p. ej., la incapacidad para desarrollar una elevada potencia muscular que se traduzca en una elevada velocidad de desplazamiento en la carrera previa al salto de longitud), o por errores en la geometría del movimiento (p. ej., colocación del cuerpo con una inclinación anterior excesiva en la batida de un salto mortal hacia delante en gimnasia artística, lo que provoca un gran momento de giro pero escasa altura del salto). Es en este segundo caso cuando se requiere una intervención en el proceso del aprendizaje motor. De la comparación de los parámetros definitorios del modelo técnico ideal o modelo biomecánico respecto al modelo técnico individual del sujeto podemos sacar conclusiones de cuáles son los errores que se debe corregir para la mejora técnica de nuestro deportista. La correcta definición del

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

modelo biomecánico, la precisión de los medios utilizados para el análisis de la ejecución técnica del deportista y la interpretación y traducción de los resultados al campo del entrenamiento de la técnica producirán una mayor o menor mejora del proceso de entrenamiento de los factores motores.

Para el estudio, el análisis y la determinación de los modelos biomecánicos de referencia podemos utilizar métodos cualitativos o cuantitativos.

El análisis biomecánico cualitativo

Dentro del prisma del **análisis biomecánico cualitativo**, para la mayoría de las modalidades deportivas se han desarrollado **planillas de observación** con distinto nivel de concreción donde se establecen los criterios para valorar si las distintas partes del movimiento se han ejecutado o no correctamente de acuerdo con el modelo biomecánico. Habitualmente, estas planillas o instrumentos de evaluación recogen los factores críticos que deberían ser correctos para satisfacer los principios biomecánicos básicos, y pueden ser fácilmente observables por el entrenador y evaluados mediante criterios cualitativos.

Aunque no existe un modelo único de ejecución de los gestos técnicos deportivos, sí existen lo que Massafret y Serrés (2004) denominan **indicadores de ejecución técnica correcta** o claves atencionales. Estos indicadores son unas pautas que hay que seguir para aumentar el rendimiento de la ejecución del elemento técnico estudiado. Estos indicadores, **fácilmente observables por el entrenador**, le servirán para evaluar y corregir la ejecución de la técnica mediante la **comparación con el modelo biomecánico**. Tomando como base a Hay y Reid (1988), el sistema de análisis biomecánico cualitativo se realiza en cinco **etapas**:

- Desarrollo del modelo biomecánico.
- Elaboración del instrumento de evaluación.
- Observación del rendimiento e identificación de los fallos.
- Evaluación de la importancia relativa de los fallos.
- Instrucciones a los deportistas de acuerdo con las conclusiones del análisis.

El instrumento de evaluación cualitativa debe reflejar, para cada fase estructural de la destreza, los principales indicadores y variables técnico-biomecánicas observables, la escala de estimación sugerida y una descripción precisa de cada indicador, presentando los aspectos fundamentales a tomar en

consideración. De forma similar, Izquierdo y Echeverría (2003a) establecen que el proceso de análisis del gesto técnico requiere la identificación del propósito mecánico de cada fase del movimiento, la elaboración de una relación de objetivos parciales biomecánicos que determinan la consecución del propósito mecánico, la identificación de los principios biomecánicos que relacionan los objetivos biomecánicos con el rendimiento y la elaboración de una relación de las características críticas de cada componente.

TABLA 6.8. Lista de control para el salto zancada-tirón a posición en anillo (*switch leap to ring position*) de gimnasia artística femenina



Lista /conducta – sentencia

Sí

No

Duda

Posición corporal correcta en el despegue: tronco vertical
Extremidad que lanza primero al frente por encima de 45°
180° de apertura anteroposterior tras el cambio
Pie posterior a la altura de los hombros en el salto
Altura adecuada
Posición arqueada del tronco
Mantiene una postura corporal correcta en la fase aérea
Recepción adecuada sin desequilibrios

Original de los autores.

Dependiendo de los objetivos y características de la acción motriz, se utilizan diferentes **instrumentos de observación** como **listas de control**, que consisten en una serie de frases que expresan conductas-acciones ante las cuales el observador señala su sentencia (positiva o negativa) (tabla 6.8); **escalas de clasificación** o puntuación, donde se sitúan uno o varios aspectos de la acción motriz entre unos límites arbitrarios (insuficiente, flojo, regular, bueno, excelente) (tabla 6.9), y **escalas descriptivas**, que consisten en breves descripciones en forma muy concisa y exacta del rasgo observado (tabla 6.10). El técnico únicamente señala la posición del deportista en relación con la descripción (Izquierdo y Echeverría, 2003a).

Obviamente, el conocimiento de la modalidad deportiva por parte del entrenador y su experiencia y capacidad de observación son requisitos básicos para un adecuado análisis biomecánico cualitativo. Además de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

observación visual directa, en función de la modalidad deportiva el entrenador puede utilizar otras estrategias como las marcas o huellas de jadas por los atletas y/o los implementos deportivos, y la información auditiva y táctil. Habitualmente, se recomienda que el observador se sitúe perpendicularmente al plano principal de la ejecución, a una distancia de 10-20 m, aunque determinadas técnicas requieren una observación de distintos planos. Aunque un entrenador experimentado puede obtener información útil a tiempo real mediante la observación visual del movimiento de sus deportistas y referenciar los errores en las planillas de observación, la tecnología disponible en la actualidad permite realizar análisis más fiables y válidos tanto en tiempo real como diferido.

TABLA 6.9. Escala de clasificación para el salto zancada-tirón a posición en anillo (*switch leap to ring position*) de gimnasia artística femenina

<i>Puntuación</i>	<i>Descripción</i>
0	Altura del salto insuficiente Split anteroposterior <180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros No alcanza la posición arqueada del cuerpo
1	Altura del salto suficiente Split anteroposterior <180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros No alcanza posición arqueada del cuerpo
2	Altura del salto suficiente Split anteroposterior >180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros No alcanza posición arqueada del cuerpo
3	Altura del salto suficiente Split anteroposterior >180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros Posición arqueada del cuerpo
4	Altura del salto suficiente Split anteroposterior >180° Pie posterior por encima de la altura de hombros Posición arqueada del cuerpo
5	Altura del salto insuficiente Split anteroposterior <180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros Posición arqueada del cuerpo
6	Altura del salto insuficiente Split anteroposterior <180° Pie posterior por debajo de la altura de hombros Posición arqueada del cuerpo
7	Altura del salto suficiente Split anteroposterior >180° Pie posterior por encima de la altura de hombros Posición arqueada del cuerpo

En cursiva se destacan los aspectos ejecutados correctamente. En este caso debemos tener en cuenta la importancia que tienen los diferentes aspectos observados del salto para que sea considerado una parte de valor del ejercicio y los jueces cuenten el elemento como ejecutado. Por ello, la altura del salto es una variable que producirá una penalización del elemento pero no lo eliminará del cómputo de dificultades de la gimnasta. Así, está incluido en la valoración 6 que no aparezca una altura suficiente del salto, aspecto que puede llamar la atención sobre los otros tres (los otros tres son características técnicas que hacen que el salto sea considerado parte de valor).

Original de los autores.

TABLA 6.10. Escala descriptiva para el salto zancada-tirón a posición en anillo (*switch leap to ring position*) de gimnasia artística femenina

<i>Descripción</i>	<i>Puntuación</i>	
– Salto <i>sin altura</i> y con una <i>forma</i> (<i>split</i> anteroposterior 180°, arqueado del cuerpo, y pie alcanza la altura de los hombros) <i>incorrecta</i>	0 = Deficiente	No VD
– Salto <i>con altura</i> pero, con una <i>forma</i> (<i>split</i> anteroposterior 180°, arqueado del cuerpo, y pie alcanza la altura de los hombros) <i>incorrecta</i>	1 = Muy pobre	No VD
– Salto <i>sin altura</i> , con <i>amplitud</i> 180° del <i>split</i> anteroposterior pero <i>sin llegar el pie a la altura de los hombros y sin arqueado del cuerpo</i>	2 = Pobre	No VD
– Salto <i>con altura</i> , con <i>amplitud</i> 180° del <i>split</i> anteroposterior pero <i>sin llegar el pie a la altura de los hombros y sin arqueado del cuerpo</i>	3 = Insuficiente	No VD
– Salto <i>sin altura</i> , con <i>amplitud</i> 180° del <i>split</i> anteroposterior, <i>pie llega a la altura de la cabeza pero sin arqueado del cuerpo</i>	4 = Suficiente	No VD
– Salto <i>con altura</i> , con <i>amplitud</i> 180° del <i>split</i> anteroposterior, <i>pie llega a la altura de la cabeza pero sin arqueado del cuerpo</i>	5 = Bueno	No VD
– Salto <i>sin altura</i> pero con una <i>forma</i> (<i>split</i> anteroposterior 180°, arqueado del cuerpo y pie alcanza la altura de los hombros) <i>correcta</i>	6 = Muy bueno	Sí VD
– Salto <i>con altura</i> pero con una <i>forma</i> (<i>split</i> anteroposterior 180°, arqueado del cuerpo y pie alcanza la altura de los hombros) <i>correcta</i>	7 = Excelente	Sí VD

Criterios de observación. Código de Puntuación (Federación Internacional de Gimnasia 2009): requisitos específicos del salto (1.304) (*Artículo 7*). Penalizaciones generales más importantes aplicables a los saltos gimnásticos (*Artículo 6*). No VD: el salto no cumple los requerimientos para considerarse su valor de dificultad (VD); Sí VD: el salto cumple los requerimientos para considerar su valor de dificultad (VD).

Original de los autores.

Una vez identificados los fallos referentes al instrumento de evaluación, se requiere **categorizar la importancia de los errores técnicos** y específicamente determinar si algunos fallos son consecuencia de otros de mayor importancia. Hay que considerar que especialmente en los movimientos acíclicos las distintas fases están concatenadas, y una deficiencia de la ejecución de alguna de ellas implicará una deficiencia de la siguiente subfase (Izquierdo y Echeverría, 2003b). De esta forma, las sesiones de entrenamiento pueden orientarse a mejorar una determinada fase del movimiento lo que lleva implícito la mejora de la ejecución del resto de las fases. En este contexto un evaluador experimentado tiene que saber discernir si determinados fallos en la ejecución del movimiento son consecuencia de deficiencias del nivel de fuerza. **Aportar al deportista información breve y comprensible** sobre los aspectos más relevantes y de forma inmediata es un factor clave para la optimización de los factores

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

motores (Massafret y Serrés, 2004).

Es en este contexto donde adquieren relevancia los dos grandes factores en la comunicación relativas a los procesos de enseñanza-aprendizaje: el **factor conocimiento**, qué vamos a comunicar, y el **factor didáctico**, cómo comunicar (Sánchez y Delgado, 2003). A este respecto es evidente la importancia de que el deportista comprenda el mensaje emitido por el entrenador. Las puntualizaciones verbales combinadas con la información visual se consideran una estrategia adecuada para orientar la atención del deportista hacia aspectos críticos de la ejecución motriz. Especialmente si el gesto es acíclico, como el salto y el lanzamiento, no podremos solicitar que el deportista durante la ejecución centre la atención en más de uno o dos aspectos.

Desde esta perspectiva, el entrenamiento motor en las modalidades deportivas cerradas abandona la simple práctica repetitiva del movimiento, abogando por una **repetición del gesto deportivo consciente** y con un objetivo claro hacia la mejora de aspectos concretos. Para focalizar la atención sobre aspectos concretos en algunas tareas de elevada complejidad se puede realizar ejecuciones de partes específicas del movimiento. En este caso es recomendable efectuar posteriormente la ejecución global del gesto técnico. Esta metodología consciente del entrenamiento motor es compatible con el entrenamiento de visualización o mental propugnado por numerosos autores (Mannino y Robazza, 2004). De acuerdo con Sánchez y Delgado (2003), es esencial que el entrenador conceda prioridad al elemento cualitativo de la práctica sobre la cantidad, abogando porque cada ensayo de las acciones deportivas que realice el deportista tenga una entidad y un significado propio de acuerdo con los objetivos perseguidos.

El análisis biomecánico cuantitativo

A pesar de que un experimentado entrenador es capaz de resolver adecuadamente muchos errores a partir del análisis biomecánico cualitativo, el desarrollo tecnológico actual permite realizar un **análisis biomecánico cuantitativo** obteniendo **más información y con mayor validez y fiabilidad**. Hay que considerar que la observación visual directa presenta las limitaciones de tipo sensorial propias de los sistemas de recepción de la información del ser humano, que pueden dejar al margen detalles de gran importancia (Izquierdo y Echeverría, 2003a).

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Actualmente es posible afirmar que el éxito en las modalidades deportivas cerradas de muchos deportistas y países ha sido en parte consecuencia de la ventaja, respecto a otros deportistas, de disponer de adecuados métodos de análisis biomecánicos del movimiento deportivo y de eficaces y adecuados materiales de registro. Aunque el entrenador debe ser parte integrante del análisis biomecánico cuantitativo de sus deportistas, un análisis y una interpretación adecuados de los resultados requiere **profesionales debidamente cualificados**. En este sentido, en algunos países todavía se observa en relación con otros profesionales una carencia de biomecánicos como parte del equipo multidisciplinario de trabajo para el desarrollo de la elite deportiva. El entrenador debe guiar el proceso de análisis cuantitativo de la técnica de sus deportistas, pues es el mejor conocedor de los factores clave de la técnica que hay que analizar y estudiar. Uno de los grandes retos de la biomecánica moderna es la traducción y el acercamiento al mundo de la práctica del entrenamiento de los resultados y conclusiones de los minuciosos análisis del movimiento deportivo que se realizan.

De acuerdo con Ferro y Floría (2007), la **integración de la biomecánica en la práctica del entrenamiento** deportivo requiere establecer un nexo que relacione el lenguaje y las expresiones de los entrenadores con la terminología y los principios biomecánicos. Los escasos estudios científicos que se centran en analizar cómo deberían ser proporcionados los resultados de los análisis biomecánicos a los atletas y técnicos deportivos pueden ser una de las causas del alejamiento entre la biomecánica y la práctica diaria del entrenamiento deportivo observado en determinados contextos.

Según Egger (1994), quien hace referencia al caso específico del lanzamiento de peso, aunque es trasladable a múltiples disciplinas deportivas, los medios técnicos disponibles para la evaluación del entrenamiento y la competición no están siendo usados suficientemente por la mayoría de los entrenadores, en especial los análisis biomecánicos para la mejora de la técnica de lanzamiento. Los análisis biomecánicos pueden aportar caminos de mejora de la técnica y, por tanto, deben ser aprovechados (Lindsay, 1993; Martínez y Esparza, 1985).

El análisis biomecánico cuantitativo más frecuente es la videogrametría 2D ó 3D. La **videogrametría** es la técnica que, basándose en el registro videográfico de un movimiento, es capaz de calcular variables cinemáticas precisas tras la realización de un proceso de digitalización. La digitalización consiste básicamente en simplificar el cuerpo humano a un modelo

compuesto por formas geométricas (barras) y conexiones entre ellas, a partir de las cuales podremos calcular las variables cinemáticas precisas (ángulos, velocidades, aceleraciones, etc.) (figura 6.18). La videogrametría no es exclusiva del campo del deporte, pero se ha desarrollado una rama específica que se dedica solamente al análisis y estudio del movimiento deportivo.



FIGURA 6.18. Modelo mecánico utilizado en el análisis del lanzamiento de peso. Un modelo mecánico considera puntos de referencia anatómicos y del implemento para su posterior estudio en la acción motriz específica.

Original de los autores.

Los primeros estudios videogramétricos fueron realizados con la utilización de una sola cámara, obteniéndose variables bidimensionales (2D). Para los estudios fotogramétricos tridimensionales se han venido utilizando generalmente dos cámaras, aunque los sistemas más modernos son capaces de utilizar un número ilimitado de cámaras. El incremento del número de cámaras determina un procesamiento posterior más exigente y complicado que se ha solucionado con la automatización de los procesos de digitalización (automática frente a manual).

El inicio como tal de los estudios tridimensionales del movimiento fue

posible gracias al desarrollo de los algoritmos de transformación del espacio de las imágenes proyectadas a espacio real (Abdel Aziz y Karara, 1971). Este método se basa en la reconstrucción de las coordenadas tridimensionales de un punto a partir de fotogramas de dos o más cámaras sincronizadas en el tiempo. La reconstrucción de las medidas de los puntos se realiza gracias a la utilización de una referencia externa. La transformación de las coordenadas de la referencia en las coordenadas espaciales del objeto se hace en dos pasos (Abdel-Aziz y Karara, 1971): (i) transformación de las coordenadas de la referencia en coordenadas del fotograma, y (ii) transformación de las coordenadas del fotograma en las coordenadas espaciales del objeto.

En la actualidad, los sistemas más utilizados para realizar análisis videogramétricos son automáticos, lo que implica que sobre el cuerpo del deportista hay que colocar reflectantes. Los métodos manuales condicionan que una persona sea la encargada de la localización manual de los puntos que definen el modelo del cuerpo humano elegido en todos los campos registrados del movimiento y de todas las cámaras que hemos utilizado. Este proceso manual es muy costoso en cuanto a duración temporal, aunque es la única manera de poder analizar movimientos deportivos en competición.

A nivel experimental, con la ubicación de marcadores reflectantes en los puntos anatómicos de interés (figura 6.19) es posible realizar un análisis tridimensional con la secuencia de imágenes, estableciendo las velocidades y recorridos de los distintos segmentos corporales. Simultáneamente o adicionalmente, y dependiendo de las posibilidades y de lo que se quiera medir, se puede utilizar otros **instrumentos de medición**: el electrogoniómetro, para medir la amplitud angular ($^{\circ}$) de los movimientos de los segmentos corporales que conforman una articulación; los cronoscopios, como las células fotoeléctricas y las plataformas de contacto, para medir tiempos parciales y totales; los dinamómetros y plataformas, para medir la fuerza aplicada en las tres direcciones espaciales; los acelerómetros, para registrar las aceleraciones de un segmento corporal; los electrodinógramos y presurómetros, para medir la distribución de presiones en el apoyo dinámico del cuerpo humano; el electromiógrafo, para cuantificar la actividad muscular de determinados músculos; la ergoespirometría, para cuantificar el gasto energético del esfuerzo, y los análisis de resistencia aerodinámica, para determinar las posturas y materiales más eficientes.

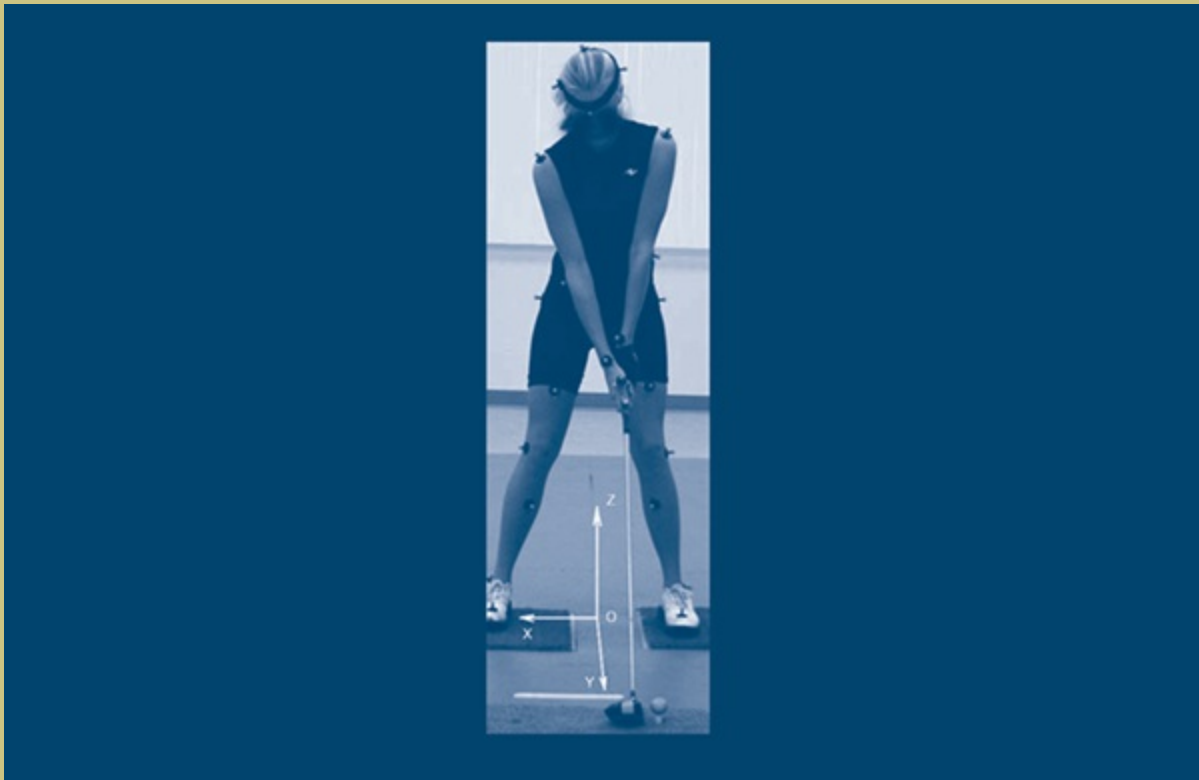


FIGURA 6.19. Ejemplo de ubicación de los marcadores reflectantes sobre una golfista para realizar un análisis videográfico. Los marcadores se establecen en puntos anatómicos de referencia para su posterior estudio en el movimiento de la acción motriz específica.

Reproducido, con permiso, de Zheng N et al. Int J Sports Med 2008;29:965-70.

Siguiendo a Zissu (2006), el análisis biomecánico cuantitativo requiere las siguientes **etapas**:

- Desarrollo del modelo biomecánico.
- Selección de las características que se van a analizar.
- Registro de las variables (fase de filmación).
- Procesamiento de los datos para la cuantificación de las variables escogidas (fase de digitalización).
- Análisis de los resultados e identificación de los errores.
- Evaluación de la importancia relativa de los errores.
- Conclusiones del análisis, incluyendo instrucciones a los atletas.

Las **variables que hay que determinar** son en todo caso cinemáticas:

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

espaciales, temporales y espaciotemporales, aunque con un análisis en el que se introduzcan datos referentes a las características inerciales del cuerpo (masas y localización del centro de masas de cada segmento) podremos acercarnos a resultados cinéticos (tabla 6.11).

TABLA 6.11. Variables determinadas en un análisis biomecánico cuantitativo

Variables cinemáticas (lineales y angulares)	Espaciales Temporales Espaciotemporales	Distancia, desplazamiento Tiempo, frecuencia Velocidad, aceleración
Variables cinéticas	Lineales	Masa, peso, fuerza, impulso, trabajo mecánico, potencia mecánica, cantidad de movimiento, energía cinética, potencial (gravitatoria y elástica)
	Angulares	Momento de inercia, momento de una fuerza (torque), cantidad de movimiento angular, trabajo angular, ubicación del centro de masa

Original de los autores.

Con el objetivo de que el lector conozca las posibilidades del análisis biomecánico cuantitativo, presentamos algunos **ejemplos de análisis realizados con deportistas de elite** en acciones acíclicas y cíclicas.

Como ejemplo de análisis mediante registros de vídeo, mostramos en la figura 6.20 la representación gráfica, para los tres lanzamientos de peso que obtuvieron medalla en los JJOO de Atenas, de las curvas de velocidad resultantes en las tres dimensiones para los pies, rodillas, caderas, hombros, codos, manos y peso. También mostramos la cuantificación de las tres principales variables cinemáticas que determinan el rendimiento (tabla 6.12) (Ariel *et al.*, 2005).

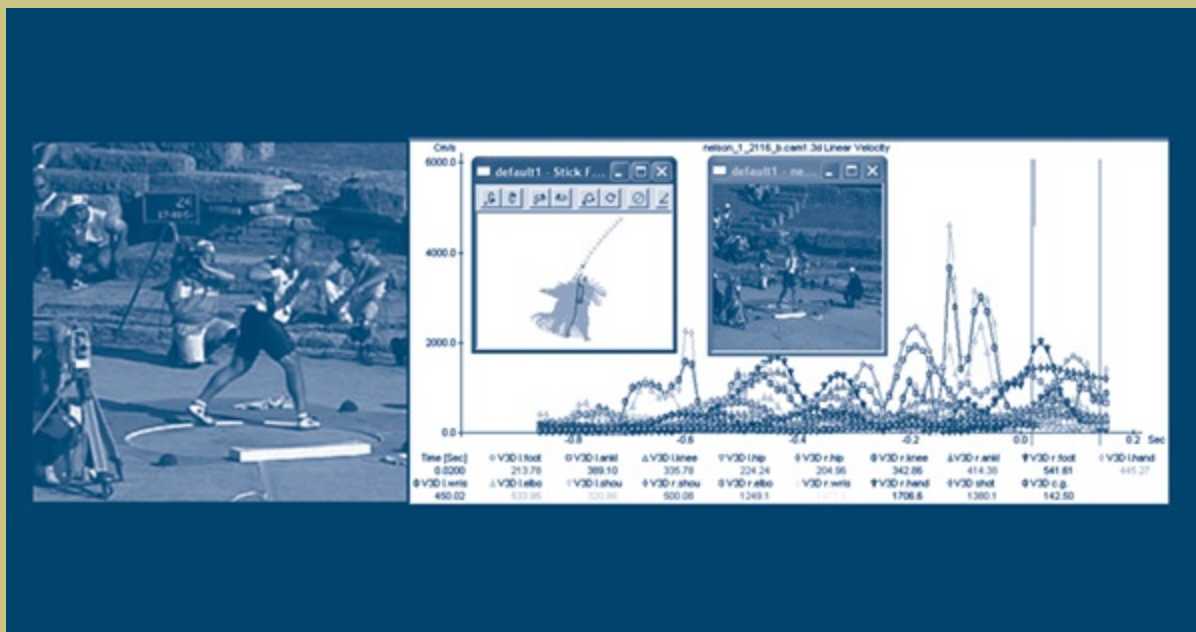


FIGURA 6.20. Curvas de velocidad de los segmentos corporales de los tres lanzamientos de peso que obtuvieron medalla en los JJOO de Atenas. Mediante un análisis de vídeo en competición oficial se puede obtener, entre otros parámetros, las curvas de velocidad de los diferentes segmentos corporales en el transcurso del movimiento. Estos parámetros determinados en deportistas de elite permiten establecer modelos biomecánicos de referencia.

Cortesía de Gideon Ariel. Institute for Biomechanical Research. Coto Research Center, Coto De Caza, California. <http://www.arielnet.com>

Como se ha indicado anteriormente, el rendimiento en lanzamiento de peso depende de una variedad de factores. El ángulo en el cual el atleta puede alcanzar la aceleración óptima de sus segmentos de brazo representaría un funcionamiento optimizado.

TABLA 6.12. Rendimiento en las tres principales variables cinemáticas de los tres lanzamientos de peso que obtuvieron medalla en los JJOO de Atenas

Lanzador	Medalla	Distancia (m)	Altura salida (m)	Velocidad salida (m/seg)	Ángulo salida (°)
Yuriy Belonog	Oro	21,16	2,55	13,85	33
Adam Nelson	Plata	21,16	2,33	13,95	33
Joachin Olsen	Bronce	21,07	2,31	13,60	41

*Adaptado de Ariel G et al. Biomechanical analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games.
www.arielnet.com/start/apas/studies/shotfinal.pdf*

Los factores que influyen en el funcionamiento óptimo serían la altura de salida (h_0), la velocidad de salida (V_0) y el ángulo de liberación (α_0). La aceleración segmentaria depende de la técnica que permite una combinación óptima de los mencionados parámetros. Como se observa, Nelson y Yuriy obtuvieron el mismo rendimiento, pero Nelson fue capaz de generar un 7,2% más de velocidad de liberación con un 9,4% menos de ángulo de liberación, y ambos competidores realizaron el lanzamiento con el mismo ángulo de proyección. De este análisis, los autores concluyeron que Nelson fue el más cercano en alcanzar el funcionamiento óptimo para sus parámetros de movimiento.

TABLA 6.13. Comparación de variables cinemáticas entre el salto de longitud de Mike Powel y Carl Lewis en los Mundiales de Tokio de 1991

	<i>Powel</i>	<i>Lewis</i>
Distancia oficial (m)	8,95	8,91
Distancia real (m)	8,98	8,91
Velocidad del viento (m·seg ⁻¹)	+ 0,30	+ 2,90
Aproximación: 11 a 6 m de la tabla (m·seg ⁻¹)	10,79	11,23
Aproximación: 6 a 1 m de la tabla (m·seg ⁻¹)	10,94	11,26
Longitud antepenúltimo paso (m)	2,40	2,23
Longitud penúltimo paso (m)	2,47	2,70
Longitud último paso (m)	2,28	1,88
Velocidad horizontal CG (m·seg ⁻¹)	9,27	9,11
Velocidad vertical CG (m·seg ⁻¹)	4,26	3,37
Ángulo de proyección (grados)	24,60	20,30
Máxima altura del CG en vuelo (m)	2,05	1,84
Altura del CG en el aterrizaje (m)	0,54	0,49
Distancia entre el CG y la señal del pie (m)	0,41	0,42

CG: centro de gravedad

Adaptado de Ariel G. Long jump. Scientific aspects in the preparation of elite athletes.
<http://sportscience.org/wizard/manual/database/longjump.html>

Otro ejemplo de análisis cinemático se muestra en la tabla 6.13 mediante la comparación del salto de longitud de Mike Powel (8,95) y Carl Lewis (8,91) en los Mundiales de Tokio de 1991 (Ariel, 1992). Además de la influencia del viento en el rendimiento final, este análisis muestra que pueden obtenerse resultados excelentes con diferentes parámetros cinemáticos. A este respecto, el autor sugirió que estas diferencias pudieron deberse a las características del entrenamiento de ambos atletas. Lewis adaptó las técnicas de un velocista al salto de longitud, mientras que Powel basó su rendimiento probablemente en una mayor orientación de su entrenamiento hacia la ganancia de fuerza. De acuerdo con el autor, los análisis biomecánicos pueden servir para seleccionar y guiar el entrenamiento de los deportistas, pero finalmente es el atleta quien adapta la ejecución motriz a sus características.

El análisis realizado sobre el salto de pértiga por Schade *et al.*, (2005) es un ejemplo representativo de la variedad de datos biomecánicos sobre la ejecución motriz de deportistas de elite en competición de los que es posible disponer en la actualidad utilizando simultáneamente diferentes instrumentos de medida (videocámaras, plataforma de fuerzas y láser). Los autores realizaron la valoración en competición oficial focalizando el estudio en conocer la velocidad de aproximación (figura 6.21), la fuerza aplicada con la pértiga sobre el cajetín en la acción de salto (esto es posible fijando el cajetín

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

sobre un sistema de sensores de fuerza) (figura 6.22) y los parámetros de energía mecánica del atleta y el momento angular en el salto.

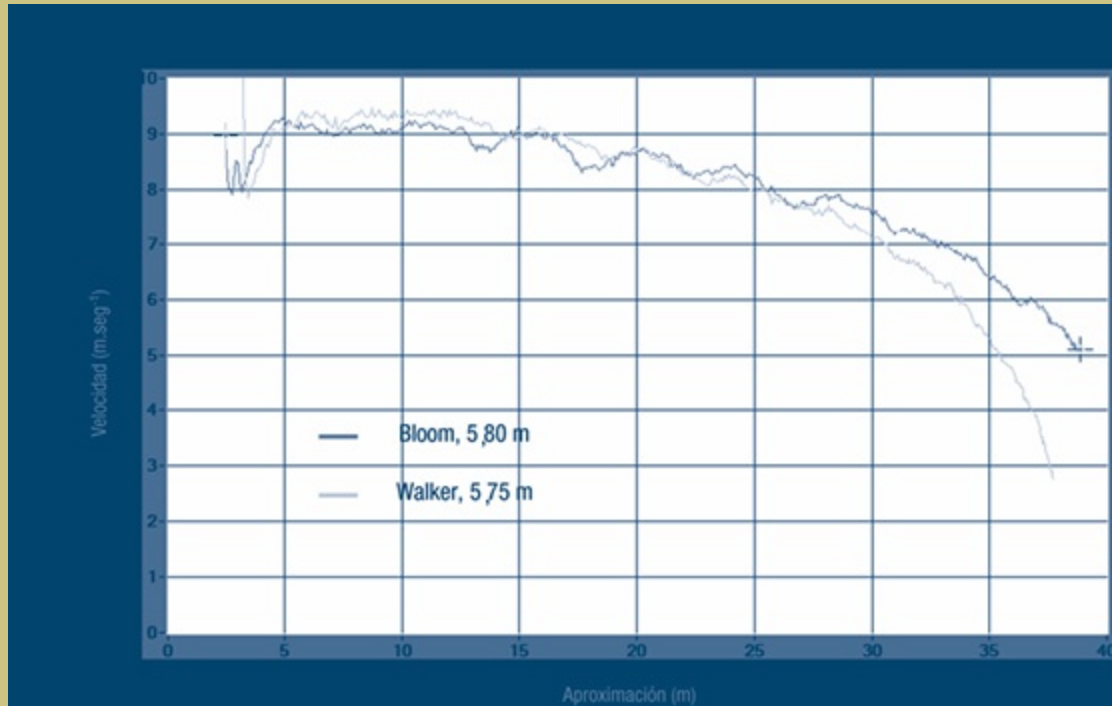


FIGURA 6.21. Evolución de la velocidad de aproximación en dos saltadores de pértiga determinada mediante un medidor de distancia láser. Actualmente es posible determinar la velocidad instantánea durante los desplazamientos y de esta manera establecer parámetros de referencia de deportistas de elite con los que realizar comparaciones mediante el análisis biomecánico de los propios deportistas o de otros deportistas.

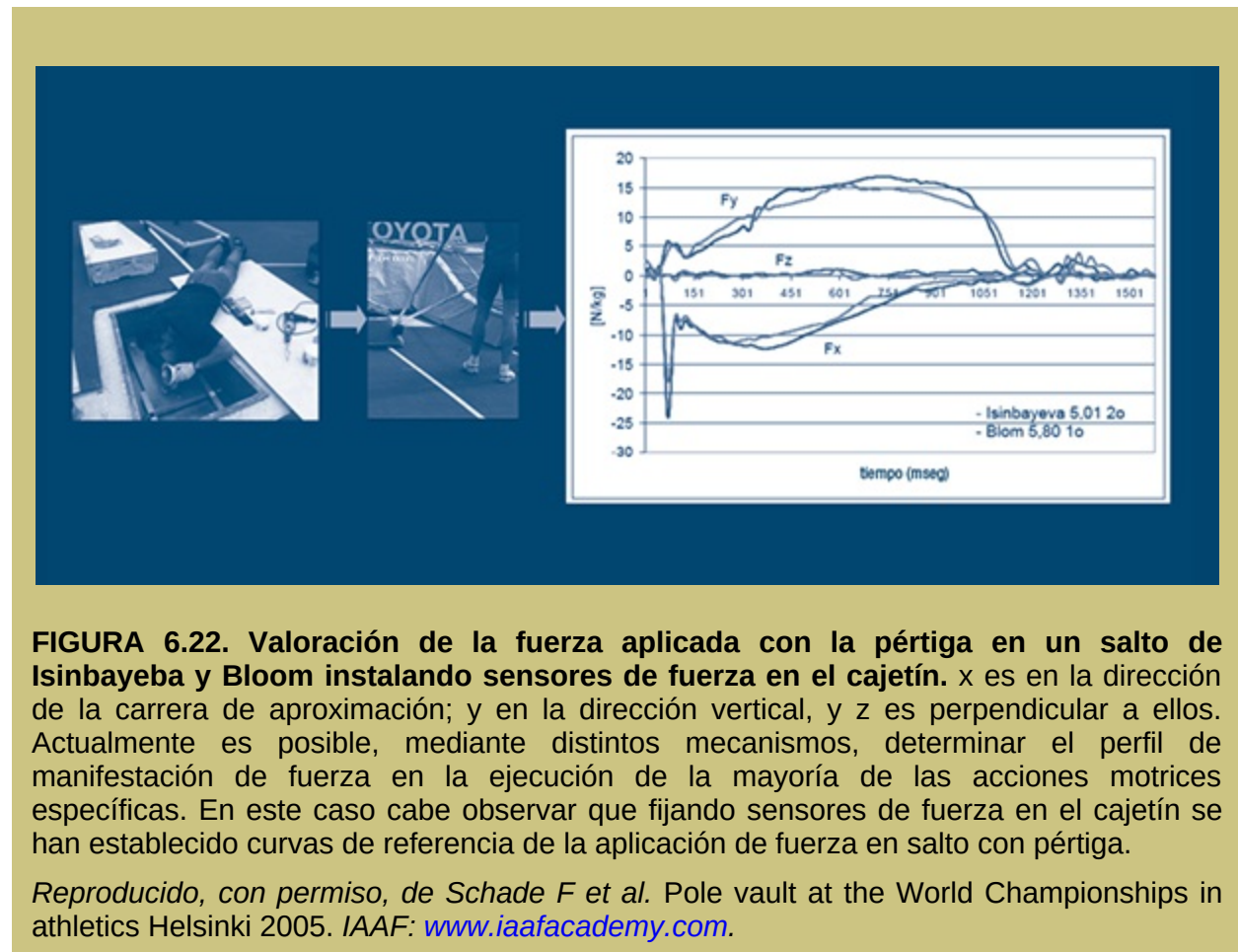
Reproducido, con permiso, de Schade F et al. Pole vault at the World Championships in athletics Helsinki 2005. IAAF: www.iaafacademy.com.

Otra aplicación es conseguir determinar cuáles son los cambios que debe hacer un deportista para realizar una técnica de mayor nivel de maestría. Esto es lo que expone Grande (2007) en su análisis, en el que compara tres saltos de potro de la especialidad de gimnasia artística femenina con diferente grado de dificultad. Mediante esta comparación determina las variables clave para alcanzar saltos con un alto nivel de dificultad (figura 6.23). Hay que destacar de este análisis la traducción de las variables cinemáticas en acciones técnicas específicas de la gimnasia artística para aproximar los resultados al

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

entrenador de esta especialidad gimnástica.

Los resultados de estos análisis deben servir como patrones de referencia para los entrenadores. El lector interesado puede encontrar información de análisis cinemáticos y dinámicos con deportistas de elite de numerosas modalidades deportivas acíclicas, como, por ejemplo, en triple salto (Wilson *et al.*, 2009), golf (Zheng *et al.*, 2008), servicio en tenis (Elliot, 2006), lanzamiento en béisbol (Chu *et al.*, 2009) y gimnasia artística (Hiley y Yeadon, 2007; Takei, 2007).



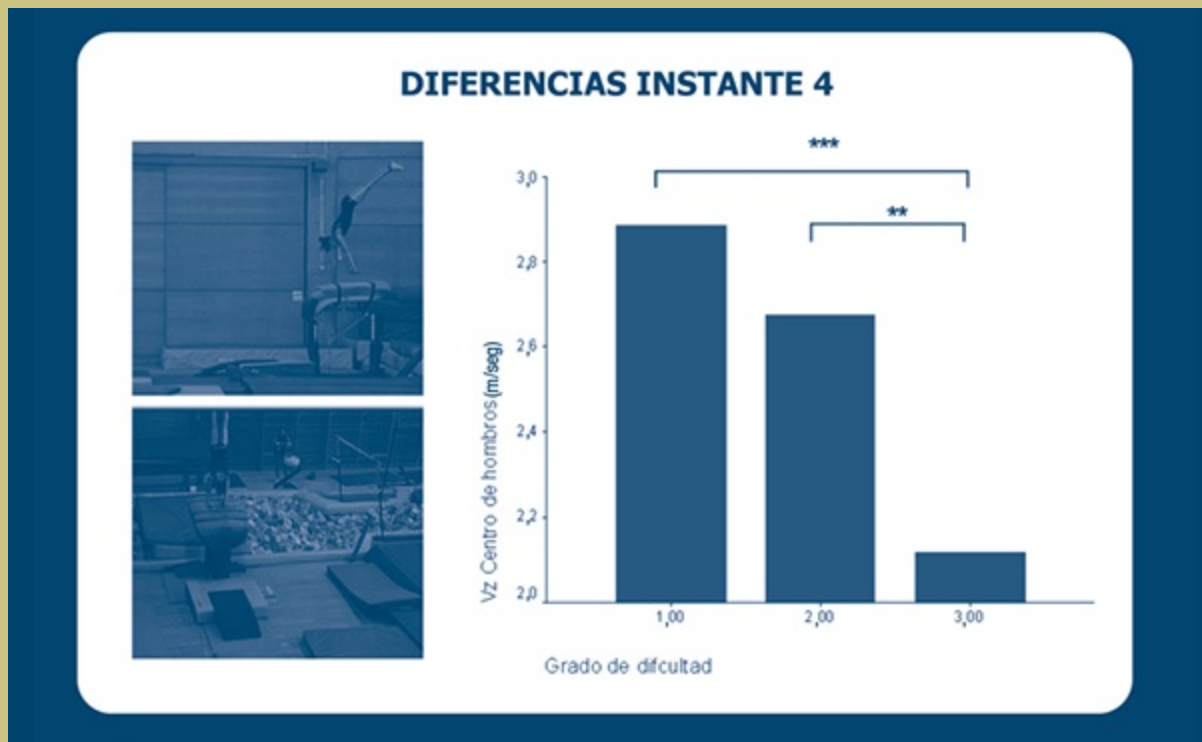


FIGURA 6.23. Diferencias en la velocidad vertical (V_z) del centro de hombros en el instante de la salida de la plataforma de tres saltos Yurchenko de diferente dificultad. En función del grado de dificultad, va-ría la velocidad vertical del centro de hombros.

Reproducido, con permiso, de Grande I. Biomechanics for coaches. 12th Annual Congress of the European College of Sport Science. Jyväskylä, 2007.

La mejora del rendimiento deportivo sobre la base del análisis biomecánico de los materiales e implementos es evidente en numerosos movimientos acíclicos. Un claro ejemplo de mejora del rendimiento mediante la interacción entre un sistema biológico y un instrumento elástico mecánico fue la introducción de las pértigas elásticas (Dillmann y Nelson, 1968). Otro claro ejemplo es la influencia que sobre el rendimiento de golpeo en tenis ha tenido la evolución en el diseño de las raquetas y pelotas (Millar, 2006).

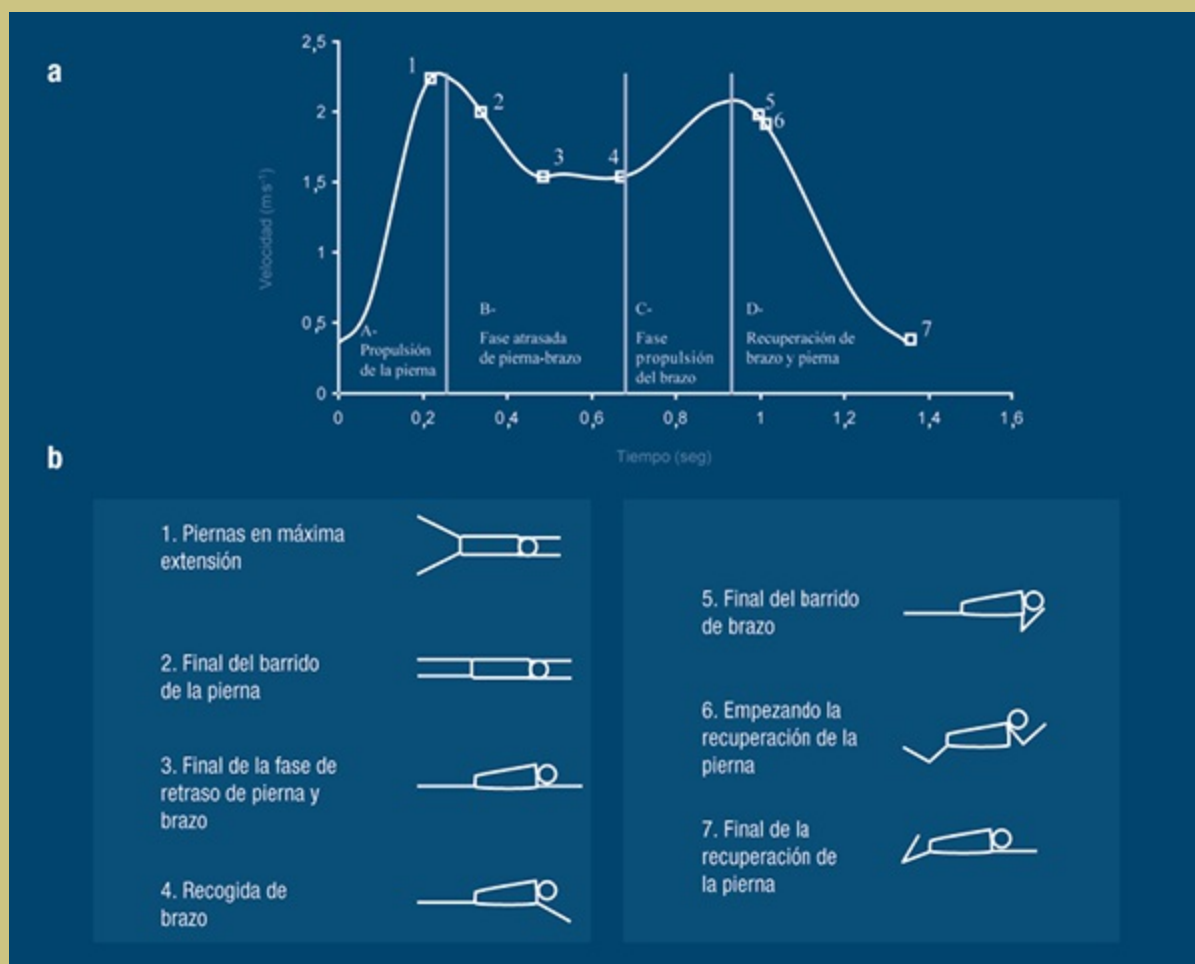


FIGURA 6.24. Velocidad intraciclo de la cadera en el estilo de natación de braza (a) en relación con las distintas fases de la ejecución motriz (b). Obsérvense los parámetros de referencia sobre la evolución de la velocidad intraciclo de la cadera en el estilo de braza. Los números establecen las fases determinantes del movimiento representadas en la figura b.

Adaptado de Leblanc H et al. Int J Sports Med 2007;28:140-7.

En deportes cíclicos, los análisis biomecánicos focalizan la atención básicamente en optimizar la eficiencia mecánica en relación con el gasto energético, abarcando una amplia variedad de análisis en función del objetivo y las características de las distintas modalidades deportivas. Varios ejemplos pueden orientar al lector sobre la aplicabilidad de los análisis biomecánicos cuantitativos en las modalidades deportivas cíclicas.

De forma equivalente a los movimientos acíclicos, mediante el análisis cinemático se determinan las características principales de la ejecución

técnica de los deportistas de elite. Como ejemplo se muestra en la figura 6.24 la velocidad intraciclo de la cadera en el estilo de natación de braza en relación con las distintas fases de la ejecución motriz.

Una de las principales aplicaciones del análisis biomecánico en las modalidades deportivas cíclicas es determinar la óptima relación entre la frecuencia y la amplitud de cada ciclo, lo que incluye el análisis simultáneo de variables cinemáticas en relación con registros ergoespirométricos como el VO_2 y registros electromiográficos. Como ejemplo, Stöggl *et al.*, (2007) mostraron que en una competición clásica de esprín en esquí de fondo los esquiadores más rápidos se caracterizaron por realizar en todas las técnicas longitudes de ciclo más largas para una misma frecuencia. La influencia de la frecuencia y la longitud de ciclo sobre el rendimiento y las diferencias entre deportistas de distinto nivel ha focalizado la atención en otros deportes, como son los distintos estilos de natación (Leblanc *et al.*, 2009; Seifert y Chollet, 2009; Gatta *et al.*, 2008; Leblanc *et al.*, 2007; Seifert *et al.*, 2007; Potdevin *et al.*, 2006) y el ciclismo, en el que numerosos estudios han determinado la óptima frecuencia de pedaleo para obtener la mejor eficiencia en terreno llano (Rossato *et al.*, 2008), pruebas cronometradas (Watson y Swensen, 2006), puertos de montañas (Rodríguez-Marroyo *et al.*, 2008) y pista (Dorel *et al.*, 2005). Es interesante que Bieuzen *et al.*, (2007) mostraran que la frecuencia de pedaleo óptima desde una perspectiva energética difiere significativamente de la frecuencia óptima desde una perspectiva neuromuscular. Igualmente, la óptima relación entre la amplitud, frecuencia, tiempo de contacto y tiempo de vuelo con la economía de carrera a diferentes velocidades ha sido descrita por Nummela *et al.*, (2007). Como ejemplo, en la figura 6.25 se muestra la diferencia entre la frecuencia de paso que determina un menor VO_2 en una carrera de 1 h y la frecuencia de paso seleccionada automáticamente por el deportista (Hunter y Smith, 2007). Debido a que la ejecución motriz está influida por el nivel de fatiga, numerosos estudios determinan actualmente las diferencias del gasto energético en situación pre y posfatiga (véase la figura 4.142).

De interés reciente es la estrategia de ritmo de competición, que se ha descrito como el empleo eficiente de recursos energéticos en la competición, de modo que todas las fuentes de energía disponibles sean usadas antes del final de la carrera. La estrategia puede ser examinada de dos modos. El primer modo es la observación de la intensidad de ejercicio seleccionada por el deportista en carreras contrarreloj en laboratorio o en acontecimientos

competitivos. En el segundo modo, la estrategia en la intensidad se cambia experimentalmente forzando al atleta a comenzar deliberadamente una prueba a un ritmo más rápido o más lento que el seleccionado automáticamente por el deportista. Tanto la estrategia observada como la manipulada experimentalmente están muy influidas por la duración del ejercicio. En acontecimientos más cortos (< 4 min) una estrategia típicamente seleccionada por los deportistas es una intensidad más elevada al principio, que progresivamente va disminuyendo hasta finalizar la competición. Así, en atletismo son numerosos los estudios que demuestran que en pruebas de 100, 200 y 400 m ésta es la estrategia utilizada cuando se han obtenido los mejores resultados (Tucker *et al.*, 2006). Igualmente, para una distancia de 800 m se ha demostrado que en 26 de los 28 récords del mundo el ritmo en los primeros 400 m fue más elevado, lo que sugiere que ésta es la estrategia óptima (Tucker *et al.*, 2006) (ver figura 4.69).

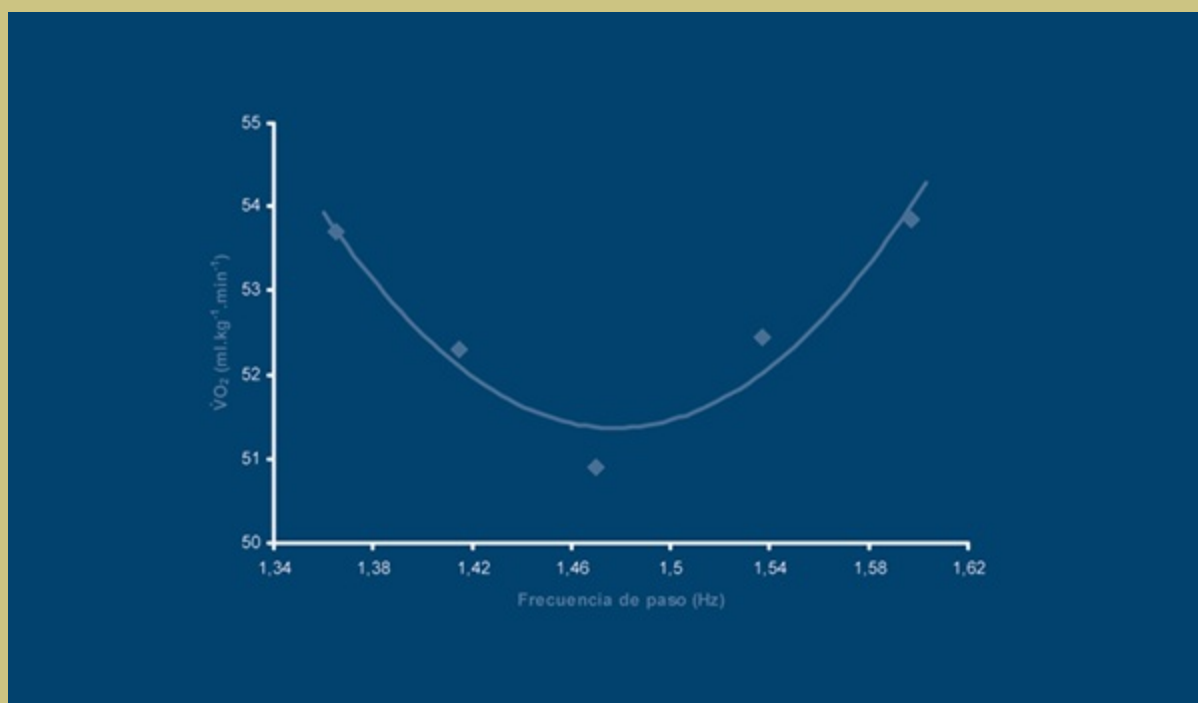


FIGURA 6.25. Relación entre el VO₂ y la frecuencia de paso en una carrera de 1 h.

Mediante la determinación simultánea de parámetros biomecánicos y ergoespirométricos se puede establecer parámetros de referencia para un movimiento más eficiente. En este caso cabe observar la frecuencia de paso más eficiente para una carrera de 1 h. Los autores comprobaron que la frecuencia de paso seleccionada automáticamente por los deportistas no era la más eficiente.

En esfuerzos de una duración superior a 4 min es habitual que la estrategia esté definida por la capacidad del deportista para aumentar la intensidad del esfuerzo al final del acontecimiento (Tucker y Noakes, 2009). Más expresamente, estos acontecimientos comienzan típicamente con una relativamente elevada intensidad, seguida por una reducción en la parte media de la prueba, antes de aumentar la intensidad hacia el final del esfuerzo (véase la figura 4.70). Las investigaciones sobre la estrategia del ritmo en competición son recientes, y aunque actualmente existen estudios sobre diferentes deportes, se requiere más investigación para determinar la estrategia que optimiza el rendimiento en diferentes deportes y en distintas condiciones ambientales. En la revisión realizada por Abbiss y Laursen (2008), el lector puede encontrar las diferentes estrategias utilizadas en las distintas disciplinas deportivas.

En deportes como el ciclismo, los análisis biomecánicos también han focalizado su objetivo en determinar la influencia de las distintas posiciones sobre la bicicleta. Así, por ejemplo, Hansen y Waldeland (2008) han mostrado que en la ascensión de puertos con una pendiente del 10% la posición levantada es más eficiente que la posición sentada a partir del momento en que la intensidad supere el 94% de la potencia a nivel del VO_2 máx., lo que indica que cuando se requiere elevada intensidad en la ascensión de puertos es recomendable la posición levantada. Como el movimiento de ciclismo lo efectúan las piernas aplicando fuerza sobre los pedales, diversos estudios han establecido también que el óptimo acoplamiento del zapato sobre el pedal permite una mejor eficacia mecánica (Mornieux *et al.*, 2008). De hecho, es continuo el diseño de nuevos sistemas que permiten medir la fuerza ejercida sobre el pedal (Stapelfeldt *et al.*, 2007).

Otro enfoque habitual de los análisis biomecánicos en las modalidades deportivas cíclicas es el estudio de las posiciones y los materiales que presentan una menor resistencia aerodinámica e hidrodinámica. Así, en ciclismo numerosos estudios han centrado la atención en determinar las posturas sobre la bicicleta, los componentes de la bicicleta y la vestimenta que optimizan la resistencia al avance. A este respecto son clásicos los trabajos originales dirigidos por Dal Monte en el túnel del viento del Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del Comitato Olimpico Nazionale Italiano, con el desarrollo de la rueda lenticular para optimizar el récord de la hora de

Francesco Moser y la influencia de la aerodinámica de diferentes posturas (figuras 6.26 y 6.27). El lector puede encontrar más información sobre la aerodinámica en ciclismo, incluida la comparación entre otras posturas, cascos aerodinámicos y diferencias entre posición estática y posiciones en esfuerzo (García-López *et al.*, 2008). La aerodinámica ha sido evaluada en otros deportes relevantes como el esquí alpino (Barelle *et al.*, 2004). Del mismo modo, en natación continuamente se diseñan bañadores que permiten menor resistencia al avance y mejoran la flotación.

3.3. Aplicación de la biomecánica al aprendizaje de la técnica en modalidades deportivas cerradas II: fuente de información

Además de servir como base para la definición del modelo biomecánico, las herramientas de **análisis biomecánico** del movimiento pueden servir como medio de proporcionar información de la realización técnica del deportista (**feedback**). El propio deportista es capaz de corregir errores de acuerdo con su propia información sensorial externa (vista, oído, tacto, etc.) e interna (mecanismos sensoriales propioceptivos). Sin embargo, el **feedback intrínseco** es habitualmente insuficiente debido a la escasa o errónea interpretación por el deportista de la información sobre la realización de su tarea, a la falta de atención selectiva a los estímulos que va a facilitarle la actuación y el correcto control de la realización de la tarea, y especialmente a la carencia de información necesaria sobre algunos aspectos de la ejecución difíciles o imposibles de obtener por uno mismo (Sánchez y Delgado, 2003).

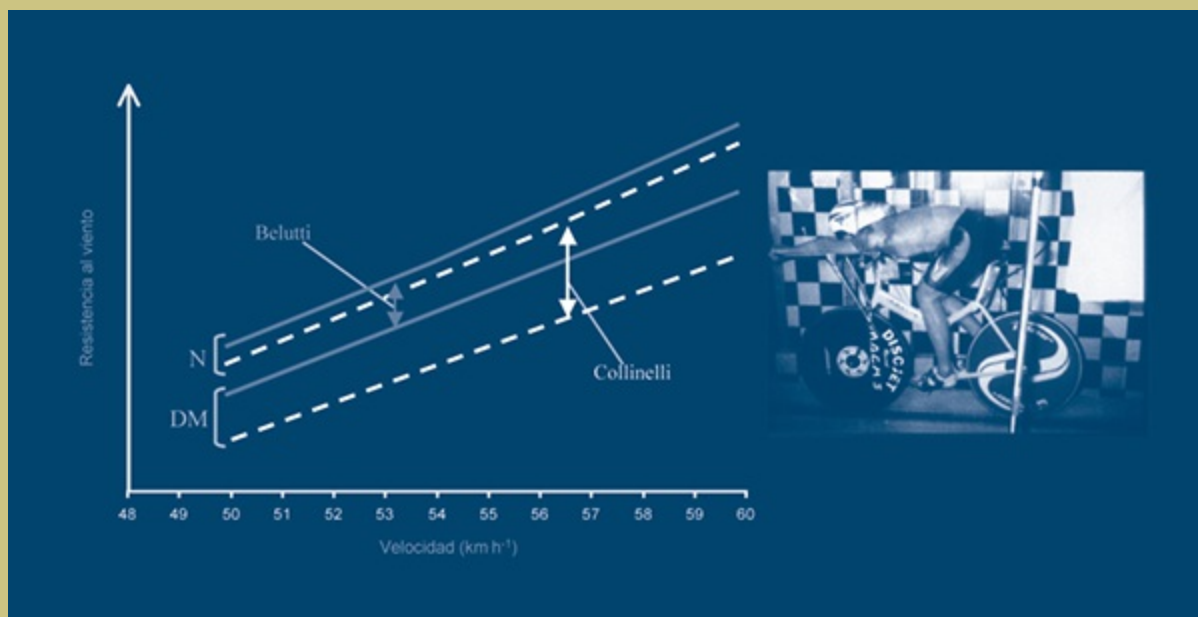


FIGURA 6.26. Resistencia al avance a distintas velocidades en dos ciclistas de ruta profesionales adoptando su posición natural y la postura Dal Monte. N: postura natural; DM: postura Dal Monte. Mediante un análisis en el túnel de viento se puede optimizar la postura más eficiente en los desplazamientos, en este caso sobre la bicicleta.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

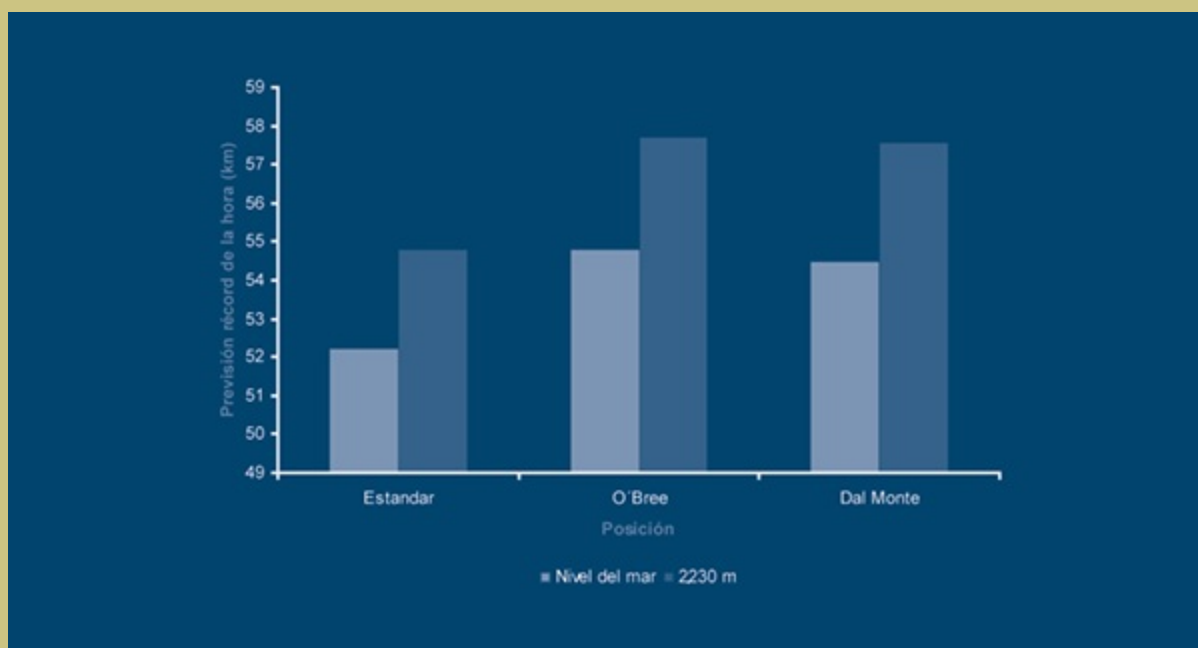


FIGURA 6.27. Previsión del récord de la hora de ciclismo a nivel del mar y en altura adoptando diferentes posturas sobre la bicicleta. Obsérvese una aplicación de los análisis en el túnel de viento para predecir el récord de la hora en ciclismo en función de la postura adoptada sobre la bicicleta.

Adaptado de Dal Monte A y Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, 1999.

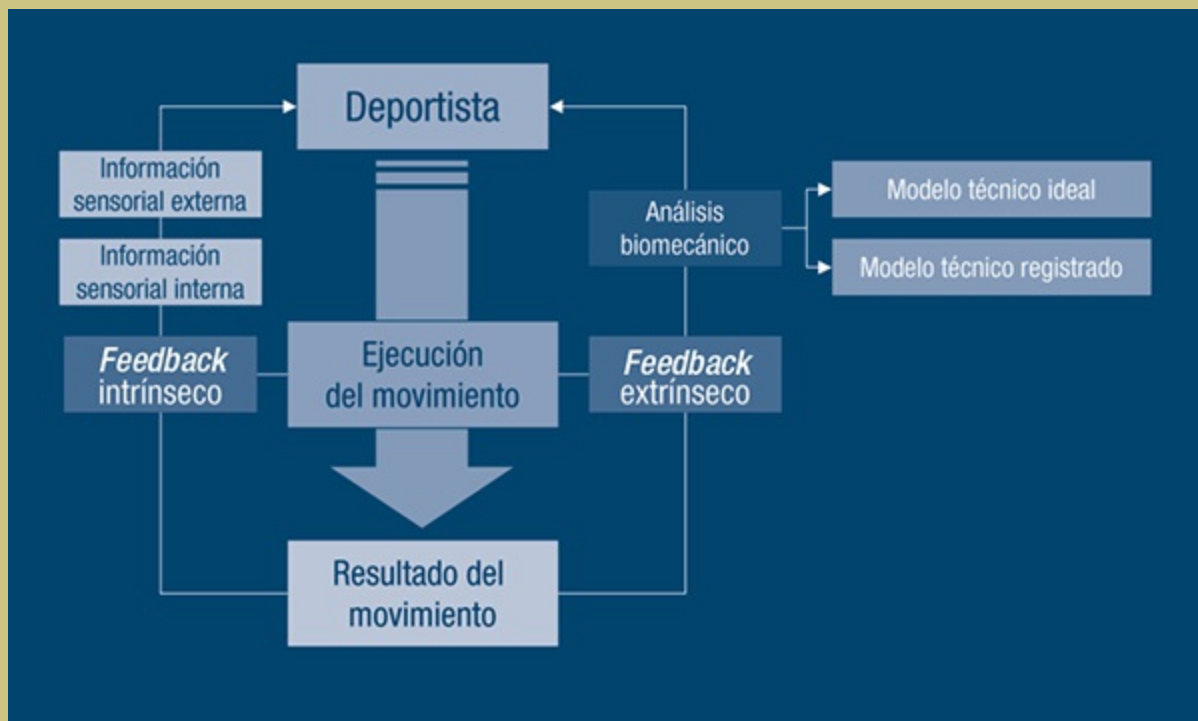


FIGURA 6.28. El análisis biomecánico como factor clave del proceso de entrenamiento motor en las modalidades deportivas cerradas. Obsérvese la integración del análisis biomecánico en el proceso de entrenamiento motor como un mecanismo de *feedback* extrínseco que permite hacer sucesivas comparaciones entre el modelo técnico ideal y el modelo técnico ejecutado por los deportistas.

Original de los autores.

La información interna del movimiento es registrada por un complejo sistema encargado de atrapar la información procedente de músculos, tendones y articulaciones (Ruiz y Bañuelos, 1997). El complejo sistema de análisis propioceptivo está compuesto por numerosos sensores localizados en músculos, tendones y articulaciones, que permiten que el sistema esté informado de la posición del cuerpo y de sus cambios en relación con la gravedad (Ruiz y Bañuelos, 1997). También nos informa sobre los movimientos del cuerpo y sus diferentes partes, siendo capaz de registrar los

mínimos cambios de posición de tensión (Rigal, 1996). Esta información es fundamental como mensaje de retroalimentación durante la realización de una tarea motriz.

La insuficiencia del *feedback* intrínseco como única fuente de información en el proceso de mejora de los factores motores del deportista provoca que se requiera que el deportista reciba *feedback* extrínseco sobre su ejecución motriz. Este **feedback extrínseco** estará orientado al diagnóstico de los errores, las causas que los producen y las estrategias necesarias para su corrección. Es en este contexto donde la información obtenida mediante el análisis biomecánico, tomando como referencia el modelo biomecánico ideal, se convierte en **factor clave del proceso de entrenamiento** de las modalidades deportivas cerradas (figura 6.28). Esta retroalimentación es fundamental en los procesos de comparación entre el movimiento deseado (modelo técnico) y la ejecución alcanzada para establecer circuitos de autocorrección.

En las modalidades deportivas cerradas, la prioridad en cuanto a la vía preferente de información utilizada durante la realización de las tareas motrices será las vías de información de carácter propioceptivo. Factores como el equilibrio o el grado de tensión muscular que aplicamos serán determinantes en este tipo de modalidades deportivas frente a variables de percepción externa del medio o de nuestros compañeros o adversarios.

Gentile (1972) opinaba que el *feedback* que hay que proporcionar al sujeto en aprendizaje varía en función del tipo de tarea, de forma que, cuando se trata del aprendizaje de una tarea cerrada, siguiendo la clásica clasificación de Poulton (1957), es preferible utilizar conocimiento sobre la ejecución (CP) y, cuando la tarea es abierta, la persona se beneficia más del conocimiento del resultado (CR). En las tareas de tipo cerrado, el medio externo permanece estable y la ejecución correcta del patrón de movimiento es lo esencial. En las tareas abiertas lo fundamental es la elección de la acción correcta en el menor tiempo posible. Sin embargo, el CP puede ser igual de útil para las tareas abiertas (Newell y Walter, 1981), en las que muchos patrones de respuesta se repiten de una forma relativamente invariable y los estímulos ambientales son también similares en muchas ocasiones.

El objetivo del entrenamiento de los factores motores e informaciones en las modalidades deportivas cerradas será alcanzar un control del movimiento perfectamente automatizado, a través de la práctica exhaustiva y deliberada, en las mismas condiciones estables de la competición (Ruiz y Bañuelos,

1997).

Las condiciones de entrenamiento en los deportes de carácter cerrado deben estar centradas en optimizar en el deportista la utilización de las informaciones sensoriales, preferentemente de carácter propioceptivo, presentes en la realización de la acción y que constituyen el elemento central del control de este tipo de movimientos (Ruiz y Bañuelos, 1997).

Como se señaló al inicio, será fundamental para la optimización de la ejecución de las tareas motrices en las modalidades deportivas cerradas el trabajar las vías sensoriales de información propioceptiva. Este tipo de información que aparece como resultado de la acción se denomina *feedback* intrínseco (Oña *et al.*, 1999). Esta información será interpretada, traducida y analizada de forma adecuada mediante la introducción de *feedback* extrínseco procedente de métodos de análisis precisos: *bio feedback*.

Se incluye en la denominación de tratamientos de *biofeedback* (biorretroalimentación o bioinformación) un conjunto cada vez más amplio y variado de técnicas que tienen como denominador común la facilitación al sujeto de información sobre sus funciones biológicas (fuerza, movimiento, tensión, equilibrio, etc.) para que sea utilizada por éste en el control o la modificación de tales funciones (Godoy, 1990). La biomecánica posibilita la adquisición directa de estas variables para servir de soporte a esta fuente de información, que ayudará a optimizar la ejecución motriz del deportista.

Las principales **aplicaciones del biofeedback** referidas al entrenamiento físico podrían dividirse en dos grandes grupos: (i) actuaciones sobre aspectos no directamente relacionados con la ejecución motriz, pero que son básicos porque contribuyen de una forma inespecífica al buen desarrollo de aquélla y (ii) actuaciones referidas ahora al propio proceso de aprendizaje de las finas destrezas motrices que constituyen las aptitudes deportivas (Godoy, 1990). En nuestro caso, el uso del *biofeedback* nos interesaría para mejorar los procesos de aprendizaje motor producidos en el entrenamiento técnico de las modalidades deportivas cerradas.

En el campo de la práctica de estos sistemas de *biofeedback* son dos las **tecnologías más utilizadas** (Godoy, 1990):

- El registro del movimiento global con procedimientos de grabación de imágenes (sistemas de vídeo o vídeo de alta velocidad) para su posterior análisis y digitalización (electrónica o manual), fotograma a fotograma, y descomposición en los componentes aislados de aquél, utilizando normalmente procedimientos computarizados comúnmente utilizados en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

biomecánica. En este caso podremos hablar de forma específica de las técnicas de *videofeedback*.

- El registro de la actividad electromiográfica de los diferentes grupos musculares participantes, con procedimientos telemétricos, para su análisis computarizado. En Sandweiss (1985) puede encontrarse una descripción de esta metodología.

Las técnicas de análisis videográfico se pueden utilizar para proporcionar *feedback* inmediato y *feed-back* diferido:

Las principales características del ***videofeedback* inmediato** son las siguientes:

- Administración de información con apoyo en la filmación del gesto técnico ejecutado tras la finalización de éste.
- Actuación integrada dentro del sistema de entrenamiento.
- El entrenador apoya sus correcciones con la imagen y la ayuda de *software* específico, pudiendo informar al instante sobre variables cinemáticas sencillas: ángulos, tiempos o distancias.
- Según el *software* utilizado cabe hacer comparaciones entre diferentes deportistas en dos pantallas o superponiendo las imágenes registradas.
- Herramientas: Dartfish, Kinovea, Motioncoach, Motionpro, Sports Motion, CoachQuest.
- La exactitud de los cálculos es muy inferior a la de los medios de análisis videogramétricos que utiliza la biomecánica más científica, pero el tiempo en que se dan estos datos es mínimo.

Las principales características del ***videofeedback* diferido** son las siguientes:

- Administración de información tras el análisis del gesto técnico grabado con apoyo de las herramientas de la biomecánica (análisis videogramétrico 3D).
- Actuación de apoyo al sistema de entrenamiento.
- El entrenador se apoya en el análisis científico para mejorar la información de la ejecución.
- La filmación puede realizarse en el propio terreno deportivo, lo que provocará un proceso de digitalización manual que retrasará la administración de resultados.

- El proceso de filmación se puede hacer en laboratorios específicamente preparados para realizar análisis de movimientos, en los que las condiciones espaciales están controladas y calibradas, y la obtención de información es más rápida. Por el contrario, el deportista está fuera de su ambiente de entrenamiento y debe colocarse trajes especiales o reflectantes que pueden impedir que su movimiento sea el habitual.
- Herramientas: Motion Analysis, Simi Motion, Kinescan-IBV, Known 3D, Vicon.

En ambos casos se integrará el uso de estas herramientas en el proceso de entrenamiento de los factores motores del deportista, lo que supone para el entrenador un período de aprendizaje.

Síntesis

- En las modalidades deportivas cerradas lo esencial es la correcta ejecución del movimiento. La biomecánica deportiva constituye una herramienta idónea para su análisis y mejora, describiéndolo en el espacio y analizando las fuerzas que lo provocan o las que determinan su ausencia.
- La biomecánica contribuye a la optimización del rendimiento mejorando la ejecución motriz y los materiales y equipamientos utilizados. La optimización de la ejecución motriz se realiza creando el modelo técnico ideal para cada modalidad deportiva y proporcionando información sobre cómo actúa el deportista para facilitar el proceso de aprendizaje y perfeccionamiento.
- El modelo técnico ideal se construye a partir de las leyes físicas que rigen el movimiento y mediante el análisis de deportistas con éxito, considerándose flexible a los constantes progresos y adaptable a las particularidades de cada deportista para establecer un modelo técnico individual.
- El entrenamiento motor en las modalidades deportivas cerradas debe mejorar la eficiencia del deportista corrigiendo sucesivamente los errores que lo alejan del modelo técnico. Para ello, es necesario identificar los errores y sus causas mediante un análisis cualitativo y/o cuantitativo.
- El análisis cualitativo utiliza planillas de observación como listas de control, escalas de puntuación y escalas descriptivas, donde se establecen los criterios para considerar que los factores más relevantes de las distintas partes del movimiento han sido ejecutados o no correctamente según el modelo biomecánico. Para este análisis y su posterior aplicación

de la información al proceso de entrenamiento se requiere que el entrenador tenga los conocimientos adecuados sobre el deporte y el proceso de observación para identificar la importancia de los errores y aplicar las estrategias técnicas y de comunicación que los solucionen.

- El análisis biomecánico cuantitativo permite obtener más información y con mayor validez y fiabilidad que el análisis cualitativo, requiriendo profesionales cualificados que además sean capaces de transmitir al entrenador los resultados, las conclusiones y las aplicaciones prácticas.
- El análisis biomecánico cuantitativo más utilizado es la videografía 2D ó 3D, que permite calcular variables cinemáticas precisas colocando para su procesamiento automático reflectantes en los puntos anatómicos de interés o, en su defecto, como ocurre en la competición, mediante la localización manual de los puntos que definen el modelo del cuerpo humano elegido.
- El análisis biomecánico cuantitativo utiliza además otros instrumentos de medición como el electrogoniómetro para medir la amplitud articular, las células fotoeléctricas y las plataformas de contacto para medir tiempos parciales y totales, los dinamómetros y plataformas para medir la fuerza aplicada, los acelerómetros para registrar la aceleración de un segmento corporal, los electrodinógramos y presurómetros para medir la distribución de las presiones de apoyo, el electromiógrafo para cuantificar la actividad muscular, la ergoespirometría para cuantificar el gasto energético y los análisis de resistencia aerodinámica e hidrodinámica para determinar las posturas y materiales más eficientes. En este apartado se han mostrado numerosos ejemplos de la aplicación de estas mediciones.
- El entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas cerradas requiere que cada repetición de la acción motriz tenga un significado propio y un objetivo claro respecto a la mejora de aspectos concretos sobre la base de la información intrínseca del deportista y de la información obtenida mediante los análisis biomecánicos cualitativos y cuantitativos.

Cuestionario de asimilación

- 1.** Define el ámbito de estudio de las distintas disciplinas de la biomecánica.
- 2.** Justifica la importancia del análisis biomecánico en las modalidades deportivas cerradas.
- 3.** Indica sobre qué aspectos la biomecánica deportiva puede ser útil para optimizar el rendimiento deportivo de una modalidad deportiva cerrada.
- 4.** Señala los dos ámbitos de actuación que justifican la importancia del análisis biomecánico en las modalidades deportivas cerradas.
- 5.** Indica cómo se obtiene el modelo técnico ideal de una determinada modalidad deportiva.
- 6.** Establece las diferencias entre el modelo técnico ideal de una modalidad deportiva y el modelo técnico individual.
- 7.** Enumera los objetivos que persigue el análisis biomecánico.
- 8.** Indica los instrumentos y variables que se utilizan en un análisis biomecánico cualitativo.
- 9.** Define las características que debe cumplir el profesional que realiza un análisis biomecánico cualitativo.
- 10.** Indica los instrumentos y variables que se utilizan en un análisis biomecánico cuantitativo.
- 11.** Señala las diferencias en la aplicación de un análisis tridimensional del movimiento en el entrenamiento y en la competición.
- 12.** Enumera algunas de las aplicaciones del análisis biomecánico en esfuerzos acíclicos y de corta duración, y en esfuerzos continuos de media y larga duración.

Metodología del entrenamiento de los factores motores e informacionales en modalidades deportivas abiertas

María Teresa Gómez López, Juan José Molina Martín, Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer los distintos modelos que han analizado los factores motores e informacionales de las modalidades deportivas abiertas, con especial referencia a los deportes de equipo y su implicación para el entrenamiento.
- Comprender la importancia de contextualizar el análisis motor e informacional de las modalidades deportivas abiertas para reorientar su entrenamiento.
- Comprender que en un análisis contextualizado de las modalidades deportivas abiertas el rendimiento parcial y final en competición debe servir de referente.
- Comprender la importancia que en la mayoría de modalidades deportivas abiertas tiene dividir la competición en unidades de rendimiento parciales y contextualizadas.
- Conocer las herramientas de análisis de competición utilizadas en modalidades deportivas abiertas, la aplicabilidad de las variables analizadas y las directrices metodológicas requeridas para un correcto análisis.
- Conocer los criterios que determinan los distintos niveles de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas, sus objetivos de trabajo y los momentos en que deben ser aplicados.
- Disponer de las principales directrices metodológicas utilizadas para facilitar o dificultar el nivel de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas.
- Disponer de los recursos suficientes para seleccionar las variables que te permitan, en el sucesivo análisis de la competición, reorientar el entrenamiento motor e informacional de las modalidades deportivas abiertas.

Índice:

- 4.1. El análisis de la competición determinante del proceso de entrenamiento: estudio específico en deportes de equipo
 - Concepción del entrenamiento según los distintos modelos de análisis de la competición
 - Antecedentes
 - Modelos actuales de análisis de la competición
 - El modelo competitivo o contextualizado
 - Observación y análisis del entrenamiento y la competición
 - Aspectos metodológicos
 - Herramientas e instrumentos
 - Indicadores que se debe evaluar
 - Perspectivas de futuro
 - 4.2. Niveles de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas
 - Definición de los niveles de entrenamiento
 - Objetivos y metodología del nivel de entrenamiento facilitado
 - Objetivos y metodología de los niveles de entrenamiento específico y dificultado
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

El rendimiento en las modalidades deportivas abiertas es dependiente de la ejecución de variadas acciones motrices en un entorno cambiante, donde los factores informacionales adquieren especial relevancia. El análisis y el entrenamiento de estas modalidades deportivas se han estudiado desde modelos y perspectivas muy diferentes. En este apartado mostramos inicialmente las características y limitaciones de estos modelos, para proponer el modelo contextualizado, con especial referencia al análisis del rendimiento en competición, como el modelo más adecuado para comprender la complejidad de estos deportes. Se resalta en este modelo la importancia del continuo análisis del rendimiento en competición para obtener información útil que permita reorientar el entrenamiento motor e informacional. Para este análisis es necesario que el lector conozca los aspectos metodológicos requeridos para dar objetividad, fiabilidad y validez a la información, así como las herramientas e instrumentos requeridos y los principales indicadores que se debe evaluar. Para su mejor comprensión, este aprendizaje se ilustra con ejemplos reales. Según este modelo, se aborda finalmente la enseñanza de las directrices metodológicas que permiten desarrollar los distintos niveles de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas, resaltando su aplicabilidad en distintos momentos del proceso de entrenamiento.

4.1. El análisis de la competición determinante del proceso de entrenamiento: estudio específico en deportes de equipo

El objetivo principal que persigue el entrenamiento es obtener mejoras del rendimiento del deportista. Debido a ello, el análisis del rendimiento se convierte en un elemento necesario y determinante para conocer en qué medida se ha alcanzado este objetivo.

En las modalidades deportivas abiertas como los deportes de equipo, el análisis del rendimiento requiere estudiar el juego y la competición. El análisis del juego implica la observación de los acontecimientos y acciones

que realizan los jugadores, el registro de los datos y su interpretación, lo que constituye un medio fundamental para conocer el deporte en competición (Álvaro, 2005; Pino, 2002).

Conocer los efectos del proceso del entrenamiento y de la competición es una de las necesidades del entrenador. Debido a ello, uno de los objetivos prioritarios es medir, cuantificar y categorizar los cambios que se producen en los jugadores y equipos como consecuencia del entrenamiento y la competición, y valorar si los medios y las cargas de entrenamiento son eficaces o no, así como qué ajustes y modificaciones hay que hacer en la programación para obtener los cambios y mejoras deseados.

Desde esta perspectiva, podemos considerar el **control del entrenamiento y de la competición** como el conjunto de acciones y medios que, previamente programados dentro de la planificación, nos permiten conocer la diferencia y la posible desviación entre las adaptaciones y el rendimiento previsto y el alcanzado realmente (Álvaro, 2007).

Para llevar a cabo este proceso, en primer lugar surge la necesidad de **observar** lo que sucede en la competición y en el entrenamiento. En la competición debido a que los comportamientos que los jugadores manifiestan en ella son en gran medida resultado de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, y en el entrenamiento porque en él se aplican los medios diseñados en función de la información obtenida de la competición (Garganta, 1997). Esta observación ha de permitirnos describir lo que ha sucedido. En segundo lugar, debemos **comparar** y cotejar lo que hemos observado y lo que pretendíamos conseguir. El contraste entre estas dos situaciones, sobre lo pretendido frente a lo que realmente ha sucedido, ha de provocar el establecimiento de **nuevos objetivos**, así como de los medios que nos permitan alcanzarlos, y de una nueva situación de entrenamiento y competición sobre la cual repetir este proceso. Desde esta perspectiva, el entrenamiento en las modalidades deportivas abiertas debe considerarse un proceso cíclico mediante el cual el paradigma observación, correlación, objetivos y experimentación se plantea como un sistema continuo de trabajo (Lorenzo, 2007).

Es objetivo, por tanto, de este apartado diferenciar la concepción del entrenamiento en los deportes de equipo en función de los distintos **modelos de análisis de la competición**, resaltando específicamente el modelo competitivo o contextualizado como determinante del proceso de entrenamiento en estas modalidades deportivas. Se incide de forma específica

en determinar mediante las herramientas e instrumentos disponibles en la actualidad los principales indicadores que permiten reorientar el entrenamiento, destacando la importancia de la metodología que hay que desarrollar para la observación de la competición.

Concepción del entrenamiento según los distintos modelos de análisis de la competición

Antecedentes

Las **primeras observaciones** realizadas en deportes de equipo se realizaron en EEUU en 1876. El objetivo de estas observaciones fue **cuantificar las acciones técnicas** que se producían en el transcurso de un partido, evaluando su eficacia al entender que el nivel de éxito dependía de ello. El deporte sobre el cual se realizaron inicialmente fue el béisbol, aplicándose posteriormente al baloncesto y al fútbol americano (Grosgeorge, 1992; en Zubillaga, 2006).

Henry Chadwich fue acreditado a principios de los años 1860 para que creara la primera tabla de puntuación y medias de bateo en béisbol, siendo Homer F. Looke Jr. quien, como periodista, desarrolló un sistema estadístico aplicado al fútbol americano (Santos, 1992).

El **control del entrenamiento y de la competición**, así como el análisis y la evaluación que deben derivarse de aquél, son elementos de **gran complejidad** dentro de los deportes de equipo. Parte de esta complejidad deriva de aspectos tales como las características del propio deporte, el medio en el que éste se desarrolla, el espacio, la estructura que configura la acción del juego, la acción del juego, el carácter interactivo (colaboración-oposición), la velocidad con la que se desarrolla el juego, la variabilidad que se produce en el transcurso del partido, la incertidumbre, la elección de los parámetros relevantes, el diseño de herramientas válidas y fiables, el elevado número de jugadores que pueden formar parte de una plantilla, la multitud y variedad de factores que afectan el rendimiento, las contingencias que surgen en los equipos, la dificultad a la hora de establecer relaciones causa-efecto, la categorización de las variables relevantes, el acceso a herramientas y nuevas tecnologías, etc. (Zubillaga, 2006; Álvaro, 2005; Riera, 1995; Godik y Popov, 1993). En ocasiones, esta complejidad ha alejado a algunos entrenadores de un conocimiento más preciso y exhaustivo del propio

deporte, y en otras les ha servido de argumento y justificación para no abordar el control del entrenamiento y la competición.

Tradicionalmente, el análisis del rendimiento se ha basado en las **valoraciones y opiniones de tipo cualitativo** que, de manera subjetiva, realizaban los entrenadores. De esta forma, durante un extenso período de tiempo el entrenamiento ha seguido un proceso a través del cual el entrenador, tras observar lo que sucedía en la competición, elaboraba una idea de los aspectos positivos y negativos acerca del rendimiento del equipo que le permitía preparar el próximo partido (Franks *et al.*, 1983).

Sin embargo, y pese a la experiencia de los entrenadores-observadores, así como de su criterio experto, esta recogida de información a través de los sentidos (fundamentalmente la vista) generaba un **análisis de la información parcial**, subjetivo y nada científico. Las investigaciones de Franks y Miller (1986) mostraron que los entrenadores, al finalizar un partido, sólo recordaban de manera acertada un 12% de la información.

Además, independientemente de su experiencia y conocimiento, el entrenador, como ser humano que es, muestra limitaciones y dificultades para observar, memorizar y analizar de manera precisa las secuencias de acontecimientos complejos que transcurren durante un largo período de tiempo, así como para recordar todos los acontecimientos que tienen lugar en la competición. Franks y Miller (1991) comprobaron que entrenadores internacionales de fútbol altamente experimentados apenas retenían el 30% de los elementos que más habían influido en el juego.

Los distintos acontecimientos que se desarrollan a lo largo de un partido, la gran variabilidad de las acciones que se producen en el transcurso de un encuentro, los aspectos emocionales que afectan al observador, su experiencia, formación y creencia son, entre otros, responsables de análisis subjetivos y parciales, lo que ha provocado que en numerosas ocasiones las conclusiones subjetivas sobre lo que sucede en un partido varíen mucho en función del sujeto que las emita (jugadores, entrenadores, ayudantes, directivos, etc.).

Posteriormente, debido a la necesidad de conocer qué sucedía como consecuencia del entrenamiento y de la competición, los deportes de equipo se acercaron a otras áreas con una mayor tradición y experiencia investigadora (medicina, fisiología, biomecánica y psicología, entre otras) en un intento por aplicar procedimientos, métodos y herramientas que de manera objetiva pudieran cuantificar efectos y demandas.

El estudio de los deportes de equipo desde perspectivas bioenergéticas, biomecánicas, médicas y psicológicas, si bien puede ser adecuado para conocer algunos aspectos relacionados con las demandas de la actividad, así como algunos factores que influyen en el rendimiento, resulta insuficiente para analizarlos (Gómez *et al.*, 2006; Álvaro, 2005).

La **metodología de análisis propia de los deportes individuales** inicialmente ha permitido obtener información objetiva sobre el desarrollo del juego, pero paralelamente ha provocado un **análisis poco específico** de los deportes de equipo y en ocasiones muy alejado de la realidad y de las auténticas demandas que presentan estos deportes, que requieren no sólo métodos de recogida de la información específicos, sino también análisis concretos.

En la actualidad, la alta profesionalización del deporte, que genera importantes inversiones y expectativas de negocio, así como el desarrollo tecnológico, nos han permitido avanzar hacia una metodología de mayor rigor, objetiva y científica.

Modelos actuales de análisis de la competición

Desde la perspectiva metodológica, conocer la realidad del juego se convierte en una prioridad para poder saber cuál es su evolución y así conocerlo en relación con las distintas etapas del desarrollo y del rendimiento. Realizar una aproximación epistemológica al paradigma en el que se desenvuelve el ámbito de aplicación del conocimiento del deporte es imprescindible, ya que cualquier proceso carece de operatividad si antes no tiene en cuenta la teoría bajo la cual se ha originado (Sternberg, 1987; en Seirul-lo 1993). Por tanto, definir el paradigma bajo el cual se ha elaborado el perfil profesional de cada uno de los entrenadores nos da la oportunidad de analizar el deporte con la relevancia que éste merece.

La evolución en el paradigma no es un concepto aislado, ya que incide de manera tridimensional en su evolución, en el conocimiento y en el aprendizaje de cualquier disciplina. Sin embargo, al estudiar el paradigma deportivo nos encontramos con la enorme dificultad del vacío propio de una ciencia en formación, siendo la estrategia más socorrida para contrarrestar este problema la utilización de los isomorfismos con las otras ciencias colindantes, al haber vagado durante años sin un rumbo propio. Así, los investigadores en ciencias del deporte se han visto obligados a acercarse a las

ciencias educativas, a las psicológicas, a las físicas y las médicas para poder ir determinando cuál es la posición actual en este vagar paradigmático.

Las tres dimensiones sobre las que se ve afectado el conocimiento son la epistemológica, la metodológica y la metódica (Hornilla, 1995). Desde cada una de estas dimensiones surge una influencia que afectará la manera de entender, de analizar, de concluir y de enseñar, y en consecuencia la totalidad del proceso del entrenamiento y cualquiera de sus aplicaciones.

Son muchos los autores que afirman que son tres los paradigmas existentes y que realizan una aproximación hacia otra ciencia colindante enfocando los paradigmas desde el mismo discurso científico, aunque en ocasiones se sitúan cerca de confundir paradigmas con teorías resultantes, refiriéndose a ellos como perspectivas y sin llegar a distinguir entre las dimensiones epistemológica, metodológica y metódica. Pedagógicamente, Bayer (1986) define los siguientes modelos teóricos: asociacionista, globalista y fenómeno estructuralista. Las diferencias entre los distintos modelos que estudia Bayer estriban en las formas de transferirse el aprendizaje de un fenómeno a otro, correspondiéndose con la pedagogía analítica, con la pedagogía global y con la pedagogía sintética, respectivamente, en lo que Hornilla (1995) reconoce como paradigmas del método, si bien este autor metódicamente sólo reconoce dos paradigmas entre los que no se encuentra el global. Hernández Moreno (1988) también distingue tres perspectivas de análisis: perspectiva tecnicotáctica, perspectiva ataque-defensa y perspectiva colaboración-oposición. En un acercamiento a lo propuesto por Bayer, podemos considerar que lo que Hernández Moreno denomina perspectivas son referencias conceptuales sobre los dualismos planteados en los tres grandes paradigmas. En un claro isomorfismo con la psicología, Seirullo (1994), Domínguez y Valverde (1993) marcan como referente el paso del conductismo al cognitivismo, considerando que éste es el punto de inflexión en el cambio de paradigma. Este punto de inflexión se podría identificar con el cambio del asociacionismo al fenómeno-estructuralismo en Bayer, estableciéndose tres paradigmas y, en referencia a éstos, tres modelos: modelo mecanicista, modelo conductista y modelo cognitivista. Según Álvaro *et al.*, (1996), las distintas perspectivas de análisis de los deportes quedan resumidas en la propuesta en relación con los modelos, haciendo aparición diferentes perspectivas relacionadas cada una de ellas con los distintos paradigmas: la analítica, la estructuralista, la funcional, la praxeológica y la ergogénica. Los modelos teóricos o perspectivas de análisis son modelos en su mayoría

explicativos o interpretativos de una misma realidad que responde ante distintas panorámicas (Blanchard y Cheska, 1985). Tras todo lo expuesto, se puede llegar a pensar que es correcto diferenciar tres paradigmas epistemológicos, los cuales se corresponderán con sus respectivos paradigmas metodológicos y metódicos.

Si consideramos lo presentado por Hornilla (1995), distinguiremos entre **tres dimensiones paradigmáticas**, cada una de las cuales está relacionada entre sí. Si la dimensión epistemológica queda definida por un paradigma dualista, las restantes dimensiones, tanto metodológica como metódica, también han de quedar definidas desde paradigmas del mismo orden, como así intentaremos relacionar a continuación.

El paradigma mecanicista

El **paradigma mecanicista** se corresponde con la teoría de la transferencia de aprendizaje asociacionista (Bayer, 1986) y con el mecanicismo (Seirul-lo, 1993). Según Seirul-lo (1993), responde a unos principios basados en un **análisis con una estructura por partes**, en la cual se evalúa la ejecución, y se realiza en una estructura separada del núcleo propiamente del juego, que desde esta perspectiva es conocida como estructura tecnicotáctica y cuyos principales representantes son Theodorescu, Heddergot y Gladman (Hernández Moreno, 1988).

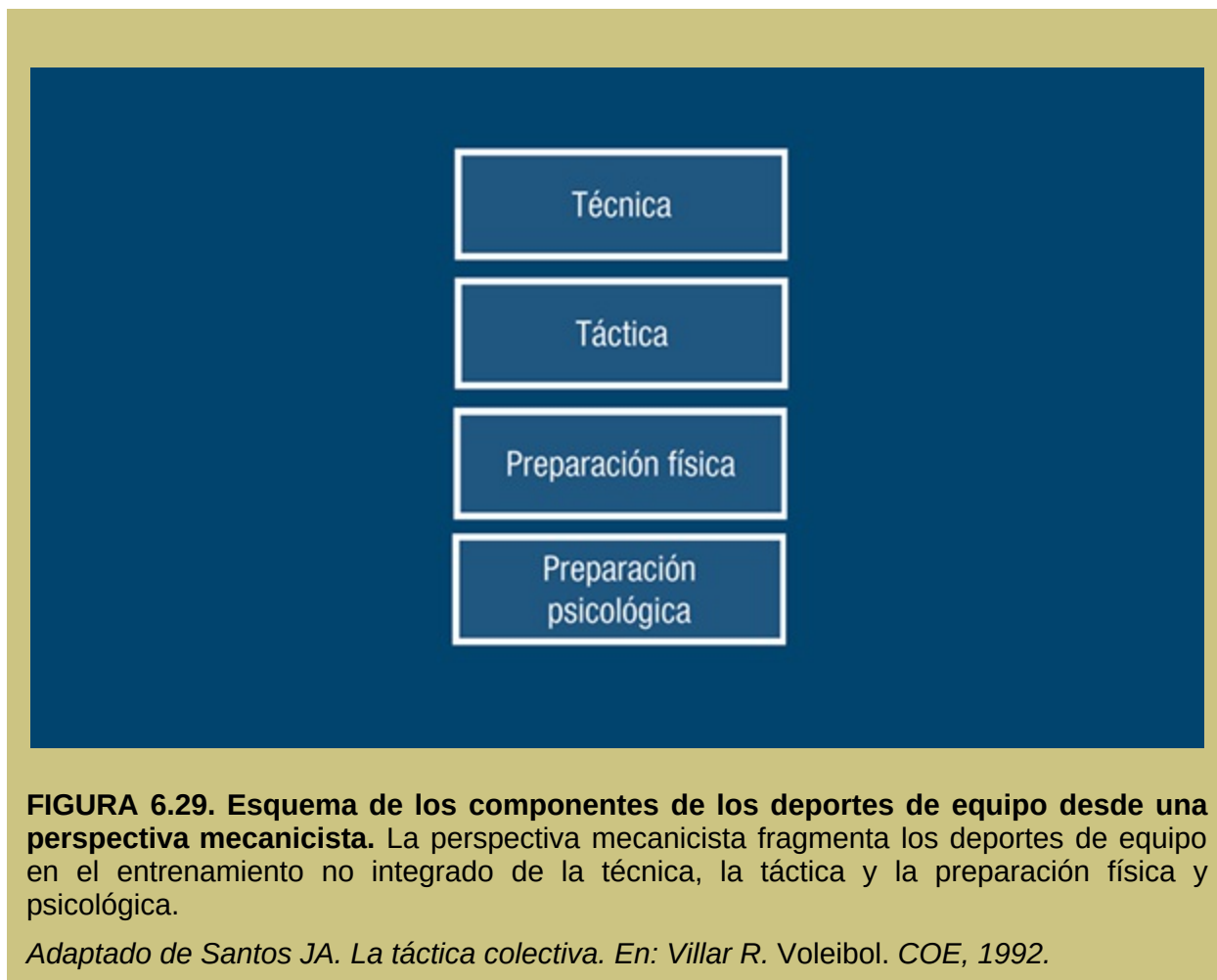
Dentro de esta concepción del deporte se van sumando elementos en la medida en que surgen nuevos procedimientos, llegando a ser las capacidades condicionales el tercer elemento dentro de esta estructura fásica. Su incorporación al anagrama de la estructura supuso un cambio fundamental en la evolución de los deportes de equipo. Una de las últimas incorporaciones ha sido la figura del psicólogo y, por tanto, de la psicología como cuarto vértice dentro de lo que se puede entender como el **dualismo tecnicotáctico** si el referente es el juego, o el **dualismo psicopsíquico** si el referente es el jugador.

La evaluación de estas capacidades tecnicotácticas y psicopsíquicas es ajena de forma total o parcial a lo que es su manifestación durante el juego. La base del proceso de aprendizaje del deporte es la **repetición hasta la mecanización de elementos aislados** del propio juego, y la base de la planificación de la **mejora física** es el entrenamiento de la arquitectura muscular, de la capacidad de resistencia y de la velocidad, de la misma

manera y/o aislados de la realidad en la que se producen.

Estamos ante un paradigma que va de lo simple a lo complejo (Álvaro *et al.*, 1996) respetando la jerarquía en la enseñanza y en el análisis, y fundamentado en la imitación y en la repetición. Dentro de este modelo, se considera de suma importancia la simplicidad y la progresividad para alcanzar la memorización mediante la repetición. Para ello, se desarrolla una enseñanza basada en los gestos técnicos de base mediante ejercicios clave (Hernández Moreno, 1994; Bayer, 1986), donde **el entrenador propone y soluciona**, y **el jugador ejecuta**. El discurso del mecanicismo no llega a negar el hecho pedagógico y científicamente demostrado de la transferencia, pero la condiciona a una presencia de elementos idénticos al considerar, por ejemplo, que se aprende a hacer un gesto haciendo el gesto y solamente ese gesto (Lauhle; en Bayer, 1986). El deporte, desde el paradigma mecanicista, desarrolla a un individuo sumergido en la cultura propia de un proceder sin mente, ya que alguien piensa por el jugador y desde ese proceder lo analiza y evalúa. En definitiva, la concepción mecanicista del movimiento conduce hacia la acción del juego como la resultante originada por la suma de los movimientos individuales, que es la técnica, y la coordinación de estos movimientos entre los distintos componentes del equipo, que es la táctica (Gladman, 1974; en Hernández Moreno, 1988).

Con estos dos elementos, técnica y táctica, y siguiendo lo establecido en el reglamento, en cuanto a conjunto de reglas que configuran el juego, surge este modelo teórico que se convierte en la esencia del proceso de **entrenamiento y enseñanza de todos los deportes de equipo durante décadas**, y según el cual los elementos que se han de entrenar son esencialmente la **técnica individual y colectiva**, la **táctica individual y colectiva**, la **preparación física** y la **preparación psicológica**, compartimentos diferenciados, con poca o ninguna intersección, que provocan un trabajo fragmentado en cuatro parcelas (figura 6.29). Cada uno de los compartimentos estancos aglutinan conceptos de forma no integrada (Santos, 1992), dividiéndose a su vez estos compartimentos en otros más simples y concretos. Estos cuatro compartimentos definen y estructuran el juego (Fiedler, 1982).



Estos modelos teóricos están basados en el esquema paradigmático estímulo-respuesta (Seirul-lo, 1993) o causa-efecto, propio de la herencia científica de Newton. No importa el individuo en su formación, en su entrenamiento, ni importa cómo se produce la manifestación específica de una capacidad condicional o coordinativa; tan sólo importa la mejora de un determinado parámetro, el cual implicará, supuestamente, una mejoría añadida durante el juego y la competición. Nos encontramos ante un orden impuesto, una enseñanza eficaz pero una **transferencia vertical**, donde cada comportamiento es a su vez subdividido de forma analítica. La técnica es subdividida en Tec.1/ Tec.2/ Tec.3, y éstas a su vez lo son en Tec.1.1/ Tec.1.2, y así sucesivamente provocando un esquema de progresión lineal (Lasierra *et al.*, 1993) (figura 6.30). La consecuencia final de esta trayectoria ascendente será la táctica, considerada como la suma de las técnicas individuales, y siendo la técnica uno de los factores más influyentes,

determinantes y significativos, al considerar la forma de ejecutar una habilidad específica. De esta forma, nos encontramos los deportes de equipo reducidos a la suma de elementos técnicos, al entrenamiento físico en función de las necesidades y a poco más.

A partir de estos razonamientos se puede deducir que son el reduccionismo y el fisicalismo los rasgos propios de esta forma de interpretar el deporte, al entender que es un continuo intento de reducir todo a leyes físicas. Por consiguiente, este primer modelo teórico estaría construido en torno a una **estructura estímulo-respuesta (E-R)**, que según lo planteado por Hornilla (1995) epistemológicamente se identifica con el paradigma empírico, metodológicamente con el paradigma positivista o cuantitativo y metódicamente con el paradigma analítico.

El paradigma globalista-estructuralista

El **paradigma globalista-estructuralista** se define también como modelo globalista (Lasierra *et al.*, 1993; Bayer, 1986) al tomar como referencia la transferencia globalista del aprendizaje de Thorpe (Masach, 1994). Se puede corresponder con el paradigma conductista (Seirullo, 1993) o con la perspectiva ataque-defensa (Hernández Moreno, 1988) presentada por Theodorescu en 1965 en el Congreso de Vichy. Está basado en el rechazo al mecanicismo existente y surge con el objetivo de encontrar nuevas formas de analizar la acción de juego que sean más globales y menos analíticas.

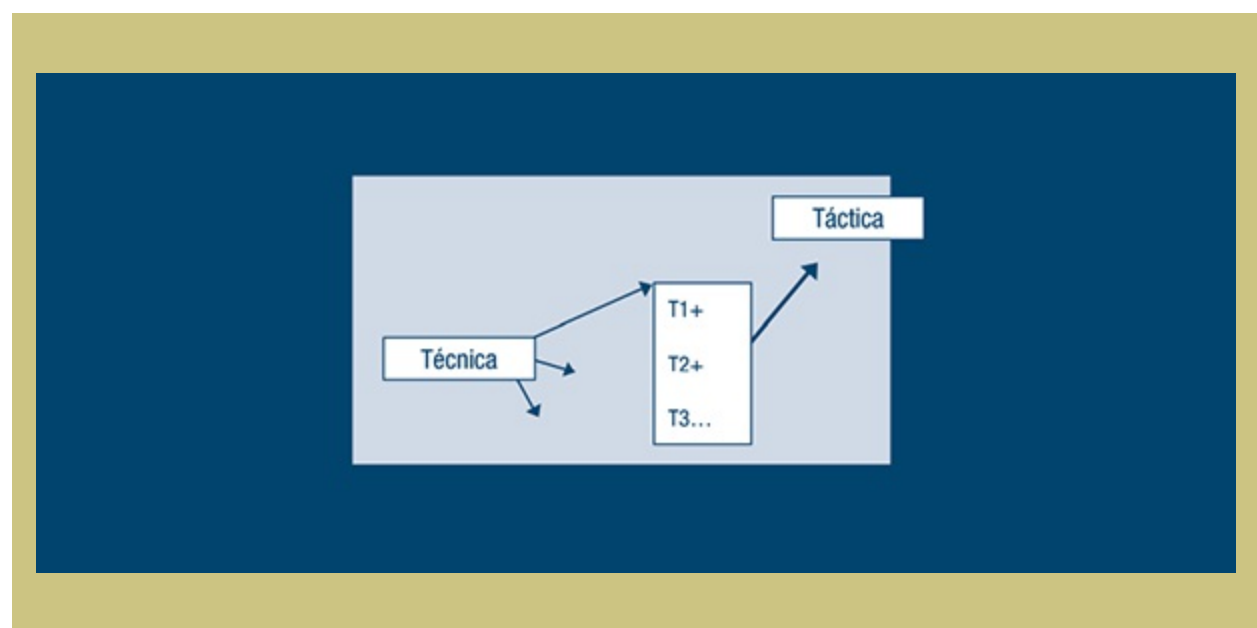


FIGURA 6.30. Esquema de la estructura subyacente de la teoría de aprendizaje analítica. La perspectiva mecanicista determina un aprendizaje analítico de las diferentes acciones técnicas que determinan la táctica.

Adaptado de Lasierra G et al. Juegos y formas de iniciación a los deportes de equipo. Paidotribo, 1993.

De los dos conceptos que definen este paradigma, en primer lugar el **estructuralismo** representa más que un modelo de análisis una necesidad metodológica, ya que se asienta en el **análisis de la forma y de las funciones**. La representación de este estructuralismo aplicado al análisis del deporte permite estudiar los fenómenos, pero no en su totalidad interna e interrelacionada, reconociendo dos estructuras: la formal junto a la funcional. Como señala Solar (1997), la estructura global de una actividad motriz no es la suma de sus partes. Si su nexo no es sumatorio, y éste evidentemente existe, nos encontramos ante la necesidad de establecer las relaciones.

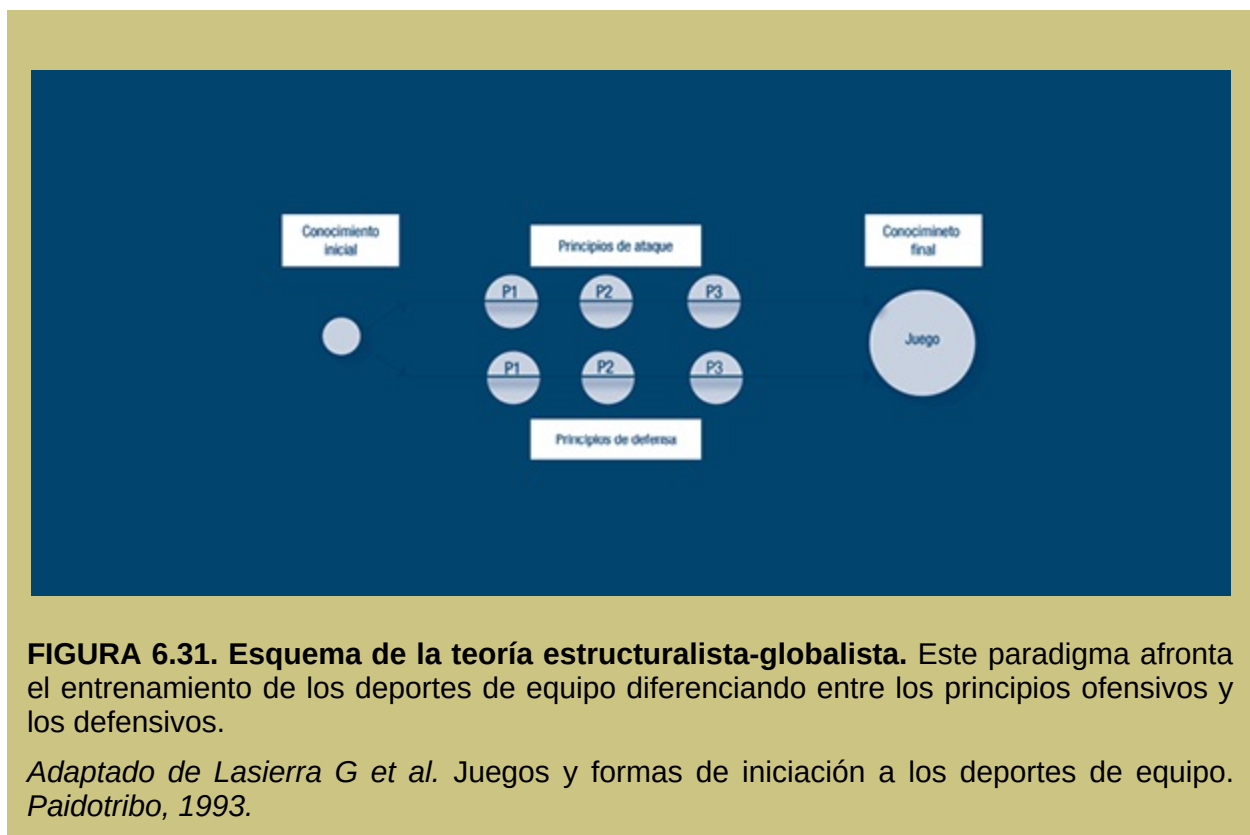
Con la llamada perspectiva ataque-defensa, se llega ante una forma de análisis que nos descubre la estructura de los principios de los deportes de equipo, la funcional y la formal, y nos ayuda a establecer sistemas, pero no nos descubre el entramado de relaciones que realmente presenta este tipo de deportes.

La **estructura formal** que define Bayer (1986) es aceptada por estudios posteriores (Domínguez y Valverde, 1993; Hernández Moreno, 1988; Blázquez, 1986) y definida como los componentes estructurales de los deportes de equipo. El formalismo reduce los deportes de equipo simplemente a una estructura física: pelota, terreno, porterías, reglas, compañeros, adversarios. Así lo señala Hernández Moreno (1994), afirmando que la estructura formal es analizada proponiendo los mismos parámetros que Bayer, excluyendo las porterías e incluyendo los tantos o puntos. A partir de su **análisis funcional**, los principios de los deportes de equipo quedan reducidos a los principios comunes de ataque y de defensa (Álvaro, 1995), en lo que podemos considerar el resumen de la teoría de Theodorescu (1965), reelaborada más tarde por Bayer entre 1975 y 1979.

En segundo lugar, el concepto **globalismo** se comprende como un principio pedagógico que entiende una transferencia más amplia entre situaciones similares en sus principios, pero diversas en su especificidad. Las situaciones planteadas desde este segundo modelo resultan un **planteamiento parcelado en dos fases del juego** que no siempre responden a planteamientos integradores de la realidad que se presenta durante la práctica

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

deportiva de este tipo de deportes, pudiendo surgir procesos también parcelados y provocando un entrenamiento escalonado igual que el mecanicismo (Seirul-lo, 1993), en donde el jugador puede actuar como tal sin comprender la esencia del juego (Lasierra *et al.*, 1993). Nos encontramos ante un procedimiento que no engloba al individuo, que reconoce el proceso pero no lo desarrolla por completo. La aparición de las teorías globalistas supone un efecto sobre los sistemas de entrenamiento y el desarrollo de los jugadores, pero aquéllas conservan defectos del discurso teórico anterior al encorsetar al individuo dentro de una función rígida, función que viene marcada por la posesión del balón: se ataca cuando se está en posesión del balón, se defiende cuando no se tiene la posesión. De esta forma, el hecho de estar en **posesión del balón** determina la expresión por parte de los jugadores de una serie de actitudes y comportamientos de naturaleza tecnicotáctica a modo de **principios ofensivos** (conservar el balón, hacerlo progresar y conseguir gol) y **principios defensivos** (recuperar el balón, dificultar su progresión y evitar el gol) (figura 6.31).



Seirul-lo (1993) reconoce el conductismo en este paradigma al calificar las

conductas de los jugadores desde aquello que se puede observar. Las estructuras surgidas sirven sólo y exclusivamente para justificar la parte de la estructura analizada, pero no buscan más allá de esa justificación, encontrándonos de nuevo dentro de la misma estructura del anterior modelo: **estímulo-respuesta, causa-efecto.**

La representación gráfica de este modelo no sería una línea recta, pero significaría, de igual forma, la rectitud como el camino posiblemente más corto para llegar a la meta establecida. Una rectitud marcada por las intersecciones de cada una de las situaciones planteadas por el entrenador. Situaciones que, en realidad, siguen siendo partes del sistema y que no implican la interrelación total del mismo. Son principios entrenados poco a poco, adaptables a la totalidad pero que no suman la totalidad. Este tipo de planteamiento se sigue correspondiendo con la noción “caja negra”, en la cual tras el estímulo se produce una respuesta, siendo el sistema que produce esa respuesta totalmente desconocido (Ruiz y Sánchez-Bañuelos, 1997). La estructura del juego es contemplada pero no se llega al fondo, la forma tiene propiedades que no son las de sus elementos y estas propiedades no se estudian dentro de este modelo. Sin embargo, éste **sienta las bases de los modelos teóricos que lo sucederán** al avanzar epistemológicamente hacia lo simbólico, pero permaneciendo cerca del mecanicismo, metodológicamente hacia lo cualitativo, conservando principios cuantitativos, y metódicamente hacia lo sintético, arrastrando tras de sí algo de lo analítico.

El paradigma integral o sistémico

El **paradigma integral o sistémico** reconoce la fusión de las estructuras y reconoce al individuo sobre sí mismo y sobre su entorno, interesándose por lo que sucede en su interior, normalmente provocado desde su exterior, estimulando al individuo para que elabore nuevos comportamientos producto de una resolución y de una creación. En este desarrollo el individuo autogenera su propia evolución más en un sentido variado que en un sentido exacto. La evaluación debe acoger en su seno aspectos propios también de las circunstancias en las que se produce el hecho analizado, interesándose, por tanto, por el sistema y por las diferencias de los individuos dentro de su aplicación.

Epistemológicamente es el **cambio del paradigma conductista al cognitivista** (Seirul-lo, 1993). Este cognitivismo puede ser reconocido en las

teorías del fenómeno-estructuralista (Bayer, 1986), en la semiótrix o praxelógica (Parlebas, 1981-1996), en la perspectiva colaboración-oposición (Hernández Moreno, 1989-1994), en la teoría corpuscular (Castelo, 1994), y en la teoría de la transferencia fenómeno-estructural (Lasierra *et al.*, 1993). Pero es la **teoría general de los sistemas (TGS)** (Bertalanffy, 1976) la mejor manera de plasmar este comprender cognitivismo, esta integración completa del sistema en donde el individuo está inmerso en un todo organizado y conocido por partes y relaciones. Los principios de la TGS son el propio sistema, teoría sistémica, el deporte visto como un todo indivisible y en el que **ninguna parte tiene efecto independiente sobre el conjunto**. El equipo se puede y se debe considerar un microsistema complejo y dinámico dentro del macrosistema que es el propio deporte. Desde esta perspectiva, no sería conveniente aplicar el modelo analítico al análisis de los deportes de equipo, al depender de que no existan interacciones entre partes o de que éstas sean lineales. Es la visión de un todo integro, que se corresponde con la visión integral del hombre, que en el deporte es y debe ser un desarrollo de su inteligencia, de su ética y de su motricidad.

Esta línea del planteamiento integral o sistémico se perpetúa de alguna forma en todas y cada una de las teorías o modelos que intentan establecer un orden interrelacionado y total de los hechos y de los individuos, en lo que el propio Bertalanffy (1976) denomina isomorfismos entre modelos. La matriz disciplinaria surgida en torno a este paradigma fructifica en varios autores con sus consiguientes teorías.

En el interaccionismo simbólico, Fine (1987) afirma que son los grupos y su dinámica lo que fundamenta el proceder de cada individuo, ya que a través de la interacción social emerge el significado de las cosas para los individuos, siendo evidente que el significado de una misma acción es diferente para un mismo individuo que pertenece a grupos diferentes cuyos objetivos, relaciones, rituales, inercia histórica y retórica deportiva son distintos (Sánchez Bañuelos, 1993).

Este modelo, en cualquiera de sus corrientes afines dentro de la estructura **estímulo-proceso-respuesta**, busca la interconexión de los parámetros configuradores a través de los puentes conceptuales, y es el universo parte esencial dentro de esta interconexión. La transferencia en este modelo se proyecta como algo dinámico y no en estructuras estáticas como en el modelo anterior, que contemplaba las meramente observables, sino que el individuo es agente capaz de cambiarlas y modificarlas en relación con lo vivido

anteriormente (Bayer, 1986).

Mientras que en el conductismo el rasgo radicaba en la estructuración y en la significación y dirección por parte del enseñante (Seirul-lo, 1993), en el cognitivismo el rasgo radica en la integración (Domínguez y Valverde, 1993; Konzag, 1992). De ahí la consideración y denominación de este modelo como integral (Sánchez Bañuelos, 1993), resultando imprescindible estar continuamente interconectando las estructuras cognitivas, coordinativas y condicionales (Domínguez y Valverde, 1993), descubriendo en la integración y en la interconexión los rasgos propios de este paradigma.

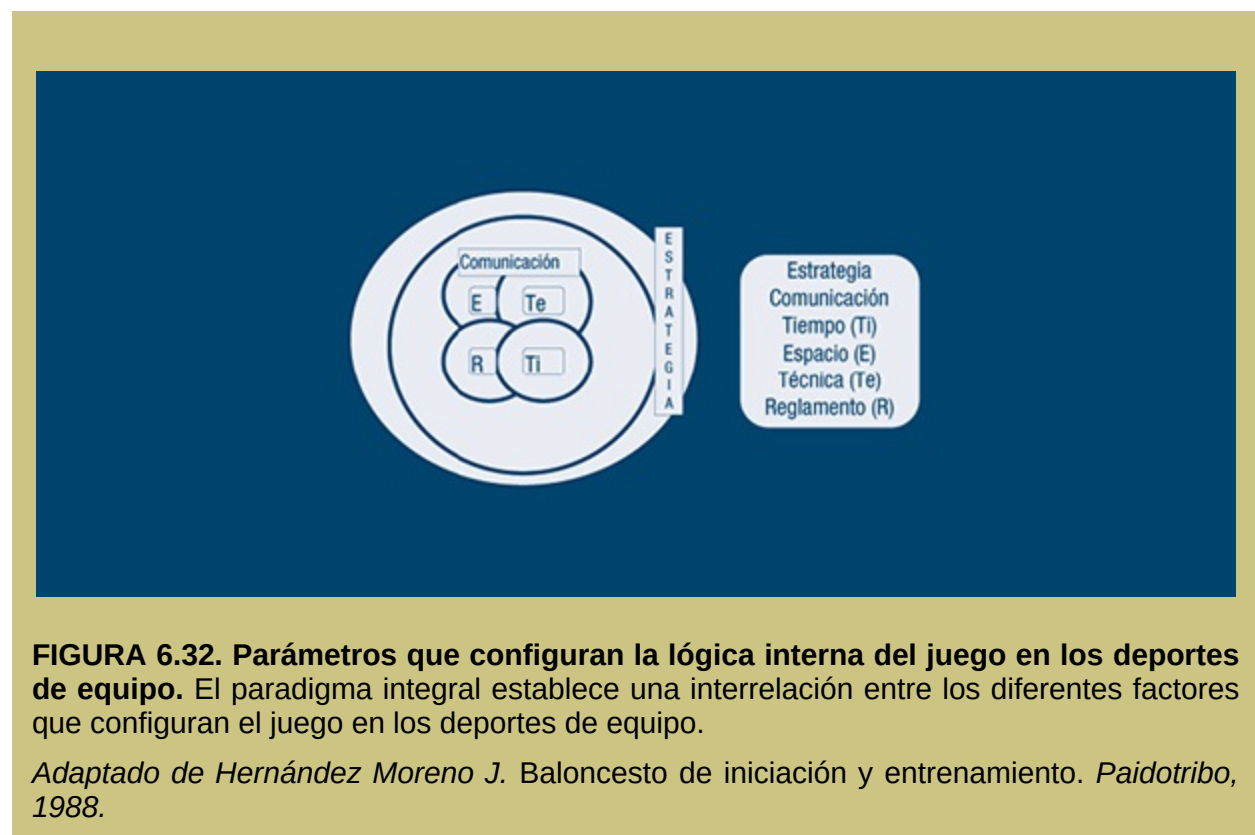
Sobreponiéndose a la estaticidad propia del mecanicismo, en este paradigma surge en primer lugar el **análisis de la dinámica de la acción del juego**. En el epicentro de estas teorías, la acción técnica queda supeditada a las características de esa acción de juego que, a su vez, es irrepetible. La técnica mediatizada por las propias situaciones del juego invalida la división entre técnica y táctica. El análisis de los modelos de ejecución (Hernández Moreno, 1988) no estará basado en la biomecánica, sino en la consecución o no de la intención táctica deseada, ya que, como cabe apreciar en su esquema, la estrategia se considera el “conjunto madre” que incluye los restantes subconjuntos, entre los que se encuentran en primer lugar la comunicación y como subnúcleos la técnica, el tiempo, el espacio y el reglamento (figura 6.32). Como señala Merleau-Ponty (Bayer, 1986), aprender nunca es ser capaz de repetir el mismo gesto, sino de dar a la situación una respuesta adaptada por diferentes medios.

Constructivismo frente a integracionismo, estructuras estáticas frente a estructuras dinámicas. Los principios de ataque-defensa analizados desde un frente dinámico. Lo que podríamos definir como principios de acción-reacción, la importancia de la técnica y la táctica frente a la codificación y la descodificación, la decisión frente a la ejecución, el respeto por el sistema táctico frente a la lectura del partido. El análisis funcional en este modelo convierte los deportes de equipo en una intersección de conjuntos o de redes a partir de los cuales se establecen interrelaciones que se entienden como un mapa conceptual, en el que los puentes de conexión deben quedar establecidos y el esquema resultante es una representación esférica dentro de la cual se interrelacionan sus componentes.

Es el siguiente paso sobre los principios de la teoría ataque-defensa. No es la mera observación de la conducta, ya que toda conducta motriz se manifiesta a través de un comportamiento motor, pero no se reduce a éste. En

efecto, los datos observables de ese comportamiento motor están investidos de un sentido, el sentido vivido de una manera consciente o inconsciente por la persona actuante. De esta forma, se da paso a una nueva metodología del análisis del deporte, considerada como la revolución Copernicana (Solar, 1997), el movimiento como símbolo con significado y significante dentro de un entramado de intersecciones, no como acción mecánica simple ni como mera conducta.

La importancia de esta metodología radica en la **formación inteligente de los jugadores**. Los datos mecánicos deben pasar a un segundo plano, primando la intencionalidad, el análisis de la dinámica y de sus relaciones (Lasierra *et al.*, 1993). A través de la nueva metodología, y de los nuevos medios propios de los deportes de equipo, se estudian las categorías surgidas de estas redes de relaciones como el conjunto de intenciones tácticas y de sub-roles motores, sin quedarse sólo en la mera cuantificación.



El análisis funcional del deporte desde esta teoría se plantea como la elaboración de un sistema de signos que se pueden cuantificar como algo observable: la acción motriz manifestada en comportamientos observables

unidos a un contexto objetivo por medio de categorías cualitativamente definidas y leídas en su paulatina aparición. Se debe rechazar la media no como el comportamiento estándar, sino estudiando en qué forma este comportamiento va haciendo su aparición (Parlebas, 1988). Estamos ante un análisis que ya no contempla la ejecución técnica como su único fin, sino modelos técnicos que deben respetar básicamente algunos principios mecánicos en función de que éstos faciliten todo el abanico de intervenciones sobre el balón y posibiliten toda la gama de intenciones sin ofrecer demasiada información al contrario. La técnica debe considerarse un medio para mejorar y no un fin. Sin embargo, a los ojos de muchos practicantes sólo la técnica permite realizar notables progresos e incluso proezas, lo cual es falso, ya que, como afirma Loth, la técnica no sirve para progresar más a no ser que esté aliada a la reflexión y al sentido táctico. Es decir, en su propio contexto de aplicabilidad tendrá sentido, ya que si no será una descripción científica aislada.

El análisis de los comportamientos pasa entonces por el análisis de sus significantes, otorgando el establecimiento de las categorías tácticas o roles en los deportes de equipo, que se dividirán en relación con la posesión o no del balón (Hernández Moreno, 1992). En esta categorización, el siguiente escalón es la intención táctica del jugador o subrol, que serán específicos de cada deporte, y por último el medio motor utilizado o modelo de ejecución técnica, dentro del cual se encuentran todos los procedimientos motores capaces de cumplir el objetivo programado por el jugador. Esto provoca la aceptación de los estilos de juego inherentes a cada individuo y la importancia de la consecución del subrol deseado como fundamento del análisis.

Llegados a este punto, es necesario recalcar el cambio en la estructura del modelo, del paradigma, el cual se produce al entender que las causas de la acción son consecuencia de un proceso de comunicación consciente y social. Dentro de la estructura de este paradigma podemos observar los siguientes elementos: estímulo-proceso-respuesta (E-P-R). Este proceso es epistemológicamente crítico o ecológico, metodológicamente observacional y metódicamente constructivista, en donde **la secuencia de juego es comprendida y desarrollada en su mismo contexto competitivo**, lo que implica:

- *El deporte* visto como un sistema que tiene cuatro rasgos fundamentales: interacción, totalidad, organización y complejidad, y dos principios

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

esenciales: la contextualización competitiva y la integración dentro del entrenamiento (Durand, 1979; en Sampredo, 1997).

- *El equipo*, considerado como parte del sistema, es una estructura con un comportamiento expresivo.
- *El jugador* analizado como protagonista, agente de dicho comportamiento expresivo, como portador de relaciones, no como marioneta mecánica ni como un mero número.
- *La lógica interna del juego* relacionada con la lógica del jugador, en donde el proceso de respuesta es o intenta ser conocido.

Surge dentro de esta matriz disciplinaria el **modelo de análisis competitivo** como modelo aplicable al deporte de rendimiento, como esquema universal dentro del cual no es posible la separación entre forma y función, entre parámetros que componen la dinámica de la acción del juego y parámetros externos a esta dinámica, fundiéndose los conceptos dentro de un único ecosistema.

El modelo competitivo o contextualizado

En relación con lo que venimos describiendo, podemos afirmar que algunos de los análisis que se realizan en los deportes de equipo sólo muestran una parte del todo. Con ellos se obtiene una gran cantidad de datos, pero éstos no reflejan el contexto ni las circunstancias en las que se desarrollan dichos acontecimientos. Es decir, no debe bastar con saber, por ejemplo, con qué valor medio se ha atacado en un determinado partido o de qué porcentaje de posesión del balón se ha disfrutado, etc., sino que hay que conocer las circunstancias en las que se han desarrollado el ataque-defensa, si el partido ha sido en casa-fuera, cuál es el nivel del rival, los resultados propios y del adversario en los últimos partidos, etc., ya que el acierto del pívot bajo la canasta, el ataque del central en voleibol, la posesión del balón del campeón contra el recién ascendido... no pueden considerarse sólo desde el punto de vista cuantitativo en referencia a otros datos como el ataque del jugador de ala, el porcentaje de tiro de un jugador exterior o la posesión del balón del equipo recién ascendido.

Parece obvio que es necesario llegar a tener una perspectiva infinitamente más amplia, tanto sincrónica como diacrónica, de lo sucedido durante el partido. La tendencia en el momento actual es la de buscar la mayor

información posible y además que ésta sea válida y aplicable *in situ*, lo cual sólo puede conseguirse si el dato queda contextualizado (Garganta, 2000; Ejem, 1995), dado que durante la tormenta de toma de decisiones en las que se ve inmerso el jugador intervienen tres elementos fundamentales: el tipo de situación, las características del que decide y el contexto (Mora *et al.*, 1995). Es ésta la razón por la cual en las tablas estenográficas (la estenotipia utiliza unos signos especiales que permiten escribir a una gran velocidad, de ahí la denominación de actas o tablas estenográficas como método de registro en deportes como el voleibol, ya que en ellas se registran una serie de signos que permiten reproducir lo sucedido durante el juego a la misma velocidad a la que se está produciendo) se incluye la posibilidad de distinguir entre dos acciones con valoraciones iguales, pero que realmente tienen valores añadidos que las hacen distintas, como por ejemplo distintas situaciones de remate o distintos momentos del partido. De esta manera podemos diferenciar en qué complejo, en qué fase se ha producido la acción (García-Gómez, 2001), diferenciaciones de gran utilidad que aportan una mayor información sobre el conocimiento del proceso del juego (Lebeda, 1970).

Estamos ante parte del problema que representa el control y análisis de la competición en los deportes de equipo: el diseño de la herramienta para registrar el dato, la definición del tipo de dato y la contextualización de éste, de cuya importancia se preocupa el modelo competitivo (Orta *et al.*, 2000; Álvaro *et al.*, 1996), coincidiendo con lo que desde el denominado paradigma ecológico de la investigación se considera la esencia del método (Ruiz *et al.*, 2001; Sánchez-Bañuelos, 1993; Pieron, 1988).

El **modelo competitivo** posibilita un análisis interrelacionado dentro de la **dimensión de juego** y la **dimensión de competición** (figura 6.33). Aparecen los tres elementos considerados dentro del núcleo del modelo planteado por Seirul-lo (1993): el **espacio**, la **tarea** y el **tiempo**. El hecho de considerar tan sólo tres componentes nucleares no debe considerarse un planteamiento contrapuesto a lo planteado por otros autores (Lloret, 1994; Hernández Moreno, 1992-1994; Olaso, 1993; Parlebas, 1988; Delaunay, 1976) que consideran un mayor número de parámetros o universales, sino un intento de considerar los componentes que, dentro del propio esquema estructural de cada uno de los deportes, son de mayor peso específico a la hora de la definición y la realización de la acción (Hernández Moreno y Jiménez, 2000; Romero, 2000). A estos parámetros los denominaremos **parámetros de acción** (Molina, 1997) por considerar que interactúan de manera permanente

entre sí en el desarrollo de la acción del juego. Dicha acción se realiza en un espacio y en un tiempo determinados: el espacio condiciona el tiempo empleado en realizar las acciones y éste a su vez condiciona la propia acción de juego (González-Millán *et al.*, 2001). Estos tres parámetros están ubicados dentro de lo que se define como **contexto de la competición**, representado éste en sus dos dimensiones, tanto la propia de competición como la de juego (Álvaro, 1995). En esta línea están también las afirmaciones de Ejem (1995) al considerar que la definición de lo que él llama la dimensión espaciotemporal, junto con el marcador, forman en los deportes de equipo la realidad del juego, y, por lo tanto, son determinantes en la toma de decisiones y en el rendimiento.



FIGURA 6.33. Esquema de la interrelación del modelo competitivo. Los parámetros de acción. El modelo competitivo establece la dimensión juego y la dimensión competición desde una perspectiva contextualizada que considera al espacio, la tarea, y el tiempo.

Adaptado de Álvaro J. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1995, y Seirul-lo F. Capacidades cognitivas, coordinativas y condicionales. Universidad de A Coruña, INEF de Galicia, 1993.

En definitiva, podemos afirmar que el modelo competitivo, como **modelo contextualizado**, pertenece a lo que algunos autores denominan paradigma ecológico. Dicho modelo intenta contribuir a la explicación e interpretación de los fenómenos estrechamente ligados al contexto, especialmente a su especificidad, llegando a poder ser considerado una nueva perspectiva de

análisis en el ámbito del deporte de alto rendimiento (Orta *et al.*, 2000; Álvaro *et al.*, 1996; Álvaro, 1995). Los **principios** de dicho modelo son básicamente tres:

- Considerar la interferencia contextual como principio activo de cambios en el rendimiento de los jugadores.
- Diferenciar entre las dimensiones lúdica y la competitiva.
- Definir la unidad de observación como unidad de rendimiento.

La interferencia contextual como principio activo de cambios en el rendimiento de los jugadores

El modelo competitivo concibe la competición como un fenómeno que introduce una serie de factores específicos que condicionan el desarrollo y la evolución de la dinámica propia del juego. Este hecho es el que explicaría las diferencias que existen en los comportamientos en el rendimiento de los equipos y los jugadores frente a situaciones de juego similares pero ubicadas en **situaciones de competición de diferente relevancia**, como, por ejemplo, tirar un penalti en un partido amistoso frente a realizar dicho lanzamiento en un partido de liga; realizar un ensayo en un entrenamiento y realizarlo en la final del Campeonato del Mundo (Orta *et al.*, 2000).

Se debe conocer la realidad del juego en todas sus dimensiones como punto de partida para comprender los diversos factores que influyen en el rendimiento, ya que el individuo mejorará en su juego en la medida en que se someta al jugador a una situación de entrenamiento en la que todas estas dimensiones queden incluidas (Konzag, 1992). En este sentido, Battig (1979) considera que en situación de competición existe siempre un efecto de **interferencia contextual** máxima, ya que la competición implica elementos de interferencia en la ejecución y de desestabilización del deportista debido a su carácter agónico (Ruiz y Sánchez-Bañuelos, 1994). Esto es debido a la cantidad de puentes de unión que se establecen entre las tareas a realizar y el contexto, lo que obliga a los jugadores a emplear un mayor número de procesos cognitivos y memorísticos (Konzag, 1992).

Estas afirmaciones planteadas en el ámbito del deporte de alto rendimiento vienen a corroborar las teorías del aprendizaje motor desarrolladas a partir de la noción de esquema de Pew (1974), y tienen máxima aplicación en el momento en el que Battig acuñó el concepto de interferencia contextual

(Battig, 1979), concepto que a partir de los trabajos de Shea y Morgan (1979) se convierte en parte indivisible del modelo. Así lo demuestran algunos de los trabajos realizados en los últimos años (Bortoli *et al.*, 2001; Immink y Wright, 2001; Wegman, 1999; Jarus *et al.*, 1997). En estos trabajos, la interferencia contextual se considera efecto o causa del aumento o la disminución en el aprendizaje motor, así como de la mayor o menor retención de dicho aprendizaje (Ruiz y Sánchez-Bañuelos, 1997; Cratty, 1983).

En distintas investigaciones aplicadas al aprendizaje y a la retención de las tareas realizadas en deportes de equipo los autores afirman que la **práctica aleatoria** implica un aprendizaje más lento que las prácticas con otro tipo de modelo como las prácticas por bloques o las prácticas repetitivas; sin embargo, el proceso de fijación memorístico es mayor utilizando el primer método (Ugrinowitsch, 1999; Smith y Davies, 1995; Bortoli *et al.*, 1992; Fren *et al.*, 1990). Así, una habilidad técnica sólo tiene sentido dentro de un contexto lúdico, siendo dentro de él donde debe aprenderse y donde adquiere completo significado (Pino *et al.*, 2001; Sáenz-López y Fuentes, 2000).

Si aplicamos este concepto al ámbito del deporte de alto rendimiento, debemos cambiar parte de los planteamientos realizados en los **entrenamientos**, considerando éstos como la escenificación del proceso de aprendizaje, de igual forma que también debemos pensar en la posible influencia ejercida por la interferencia contextual sobre la **fluctuación del rendimiento**, sobre todo si nos convencemos de que estamos en un ámbito de aplicación y en una dimensión del deporte en los que en ocasiones lo que realmente importa es el resultado final por encima de cualquier otra cosa, incluido el propio aprendizaje. Así lo afirma Buceta (1985) al señalar que en situaciones de rendimiento no se depende del número de habilidades motrices que el deportista domina, ya que la competición constituye una experiencia rodeada de numerosos estímulos estresantes en la que se exige un alto porcentaje de eficacia a la tarea, donde aparecen jugadores que llegan al máximo nivel de juego siendo capaces de hacer muy pocas cosas, pero evidentemente muy bien hechas o realizadas en momentos relevantes del partido (Velasco, 2002).

Por tanto, el objeto de estudio puede ser la fluctuación del rendimiento en cualquiera de las posibles intervenciones tecnicotácticas que el jugador debe estar obligado a desarrollar, es decir, en cualquier punto de la cascada de tareas que el juego le va imponiendo al individuo en función de la carga de factores causales (Sabas, 1996) o factores contextuales (Álvaro *et al.*, 1996).

En este sentido se establecen los trabajos de Labrador *et al.*, (1995), en los que se estudia la importancia de la interferencia contextual que la competición ejerce sobre el rendimiento del tiro libre, ya que la información procedente del marcador provoca ciertas fluctuaciones al aumentar el rendimiento cuando las diferencias son mínimas (entre 1 y 3 puntos) en comparación con momentos en los que las diferencias son mayores. En estos trabajos, la **carga de competición** la determinan factores del tipo resultado parcial, trascendencia del partido, trascendencia del lanzamiento, porcentajes, etc.

Los efectos de la interferencia contextual no sólo pueden llegar a ser negativos para el resultado, sino incluso a causar trastornos y dudas en cuanto al proceso de entrenamiento, provocando bloqueos psicológicos en el individuo y, por tanto, una disminución del rendimiento (Mayor y Cantón, 1995; Lorenzo, 1994a; Buceta, 1985). Estos bloqueos, en ocasiones hacen que el jugador elija una solución indeseada que con cierta preferencia suele ser la anterior a la que últimamente ha entrenado, es decir, todo lo contrario a lo deseado, ya que según la teoría del impulso de Hull, cuando aumenta la tensión debido a la competición son más probables las tendencias dominantes, es decir, ante situaciones en las que la activación crece progresivamente se produce una disminución del número de respuestas y hace aparición la respuesta dominante (Lorenzo, 1994b). En este sentido, Ejem (1995) afirma que la situación y la competición marcan la forma de jugar y las tendencias de juego, de manera que intentar jugar de forma creativa es complicado cuando la situación se pone difícil, por lo que lo tradicional es regresar a los fundamentos básicos y jugar de manera conservadora.

Diferenciación entre la dimensión juego y la dimensión competición

Como hemos comentado, la presión no sólo viene impuesta por la realización de una tarea más o menos complicada, sino que es la **interferencia contextual** la que aumenta estos niveles de complejidad. Además, la interferencia contextual no sólo procede de la dinámica del partido o de la competición, sino que en otras ocasiones procede del ambiente, de la presión del público e incluso de los medios de comunicación (Lorenzo, 1994a). De ahí la necesidad de diferenciar entre las dimensiones juego y competición

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

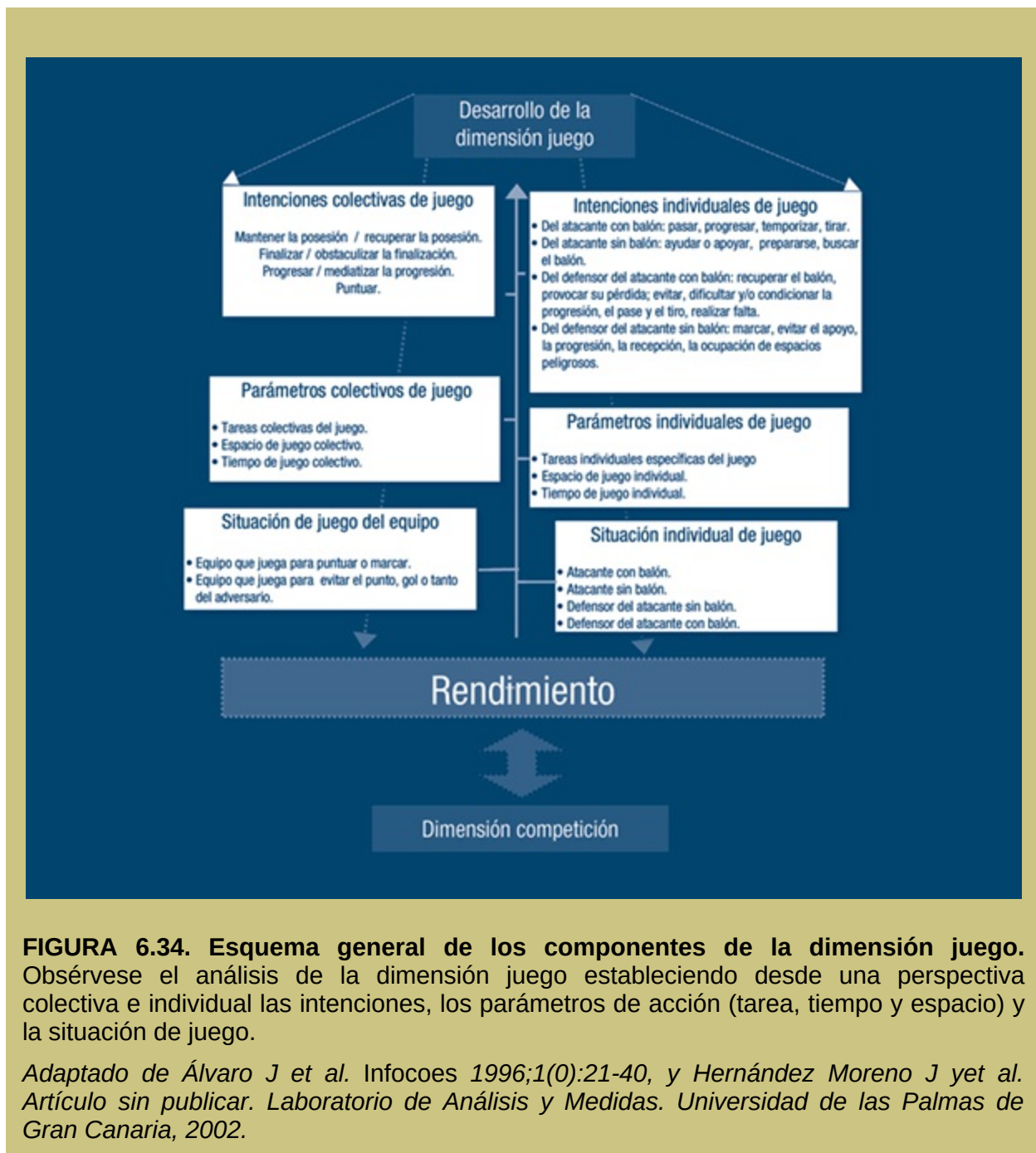
(Álvaro *et al.*, 1996), y una nueva dimensión, la ambiental. La diferenciación entre las dos primeras dimensiones posibilita la aparición de dos situaciones a analizar, por un lado, la situación de juego y, por otro lado, la situación de competición.

Las variables de la **dimensión juego** surgen del análisis de los tres parámetros de acción o núcleos del modelo propuesto (Molina, 2007), la **tarea**, el **tiempo** y el **espacio**, que marcarán las variables de naturaleza conductual. En la figura 6.34 se desarrollan los componentes de la dimensión juego tanto en su vertiente colectiva como en su vertiente individual.

Dentro de la **dimensión competición** debemos diferenciar dos dinámicas: la dimensión propia del partido o contexto intrínseco y la dimensión propia de la competición o contexto extrínseco.

Factores propios de la dinámica del partido . Estos factores contextuales son dinámicos, sufren la especificidad de cada deporte, describen lo que se puede denominar el momento del partido y varían según avanza la competición (Orta *et al.*, 2000; Álvaro *et al.*, 1996). Podemos considerar **factores contextuales dinámicos** el marcador y, dentro de éste, el tanteo, las tendencias, los parciales y sus diferentes agrupamientos, los sets y la rotación de los equipos. La importancia de estos factores se pone de manifiesto a través de las afirmaciones de Ejem (1995), al señalar que la importancia del marcador es fundamental en deportes en los que, como en el voleibol, no se depende del tiempo para señalar su finalización, lo que provoca que cuando el marcador se acerca al final del set o del encuentro aumente la carga emocional (Morante, 2000). Lo mismo sucede con los sets en juego (Ureña, 1998), ya que entre ellos se debe marcar la diferencia de aquellos sets que cabría considerar con una carga competitiva mayor por ser sets decisivos y aquellos cuya carga competitiva es menor porque no son decisivos. Por último, por ejemplo en voleibol, la rotación como factor contextual es de suma importancia, ya que permite identificar en qué rotación se produce mayor facilidad o mayor dificultad para lograr puntuar (Santos, 1992). Además, cada rotación es como un nuevo equipo, una nueva formación que se enfrenta a un determinado equipo, con unas características determinadas. El equipo sale con una rotación inicial que se enfrenta a la rotación inicial y a la segunda del equipo contrario, y así sucesivamente. Conocer en qué rotación dominamos al rival y en cuál somos dominados es fundamental para establecer equilibrios durante el partido en este tipo de deportes (Palao,

2001).



Factores propios de la dinámica de la competición. Se caracterizan por su generabilidad y aplicabilidad a todos los deportes de equipo, y son los descriptores contextuales fijos de la competición. Se identifican por ser menos dinámicos, o incluso estáticos, y conocidos de antemano. Entre estos

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

factores contextuales cabe considerar, por ejemplo, la reglamentación que rige la competición, el carácter de la competición, la clasificación de los equipos, el momento en que tiene lugar el partido con respecto a la competición, el calendario, los últimos resultados cosechados por los equipos en partidos precedentes, si se juega como local o como visitante, la tendencia arbitral en las últimas jornadas o durante la temporada analizada, etc. En este apartado también podemos incluir los **factores ambientales** que consideramos contextuales fijos: el clima, la temperatura, la humedad, la presión de los espectadores, etc. El encadenamiento de todos estos factores crea la situación propia de competición durante el juego que antecede a la realización de cualquier conducta y que puede condicionar tanto las estrategias como los objetivos del equipo (Álvaro *et al.*, 1996).

Definición de la unidad de observación

El tercer aspecto considerado dentro del modelo contextualizado responde a la necesidad metodológica de definir la **unidad de observación** (Anguera, 1997). La competición, por tanto, quedará dividida en unidades menores de rendimiento, las **unidades de competición**. Las unidades en los deportes de espacio compartido como el fútbol, el baloncesto, el balonmano, el rugby, el hockey y el waterpolo están compuestas por dos fases: ofensiva y defensiva. En los deportes de espacio separado como el voleibol, estas divisiones son establecidas desde el reglamento reconociéndose en el propio partido la macrounidad de juego, y en el set, una subunidad de la anterior. Un partido se debe tomar como una macrounidad temporal-competitiva; esta macrounidad está dividida en partes que son los sets; los sets, en jugadas o rallies; cada jugada, en fases de juego; cada fase, en secuencias de acciones, y éstas, en acciones propiamente dichas (Moutinho, 1997). Como posteriormente se detalla, el **análisis contextualizado de las unidades de competición** es el método más apropiado para reorientar el proceso de entrenamiento.

Según lo expuesto, el modelo contextualizado supone no sólo la disposición de una serie de informaciones relacionadas con el rendimiento en competición, sino también un cambio en la conceptualización de la intervención del entrenador y de los jugadores en los procesos (Álvaro, 2005). Este modelo de intervención provoca que cada situación de entrenamiento, derivada de la composición y características de los jugadores, de su estado de forma, de su rendimiento en competición, etc., sea específica

y difícilmente transferible a otras situaciones. Lo único generalizable es el modelo en sí y los criterios aplicables al análisis y la toma de decisión.

Observación y análisis del entrenamiento y la competición

Los deportes de equipo demandan un procedimiento de observación sistemático, menos subjetivo y centrado en información que, al margen de la interpretación y percepción de entrenadores y jugadores, sea veraz y fiable. Tal y como señalan Franks *et al.*, (1986), uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el análisis de los deportes de equipo es el que hace referencia a la fuente de información y a la manera de categorizarla, lo que implica establecer qué aspectos son fundamentales y aportan información coherente sobre aspectos cualitativos y cuantitativos. Pese al desarrollo actual de los sistemas de observación, registro y análisis, investigadores como Zubillaga (2006) consideran que hoy en día persisten dificultades que deben tenerse en cuenta en el análisis del juego en los deportes de equipo. Entre estas dificultades encontramos la pertinencia de una aproximación conceptual de referencia, el desarrollo de herramientas técnicas para la observación sistemática y la selección adecuada de las técnicas de análisis de datos. Es objeto de este apartado establecer los aspectos metodológicos que hay que considerar en el análisis de los deportes colectivos y conocer las herramientas e instrumentos disponibles, así como la utilidad de las distintas variables de análisis.

Aspectos metodológicos

La **metodología observacional** aplicada a los deportes de equipo se está desarrollando desde distintas perspectivas y con diferentes directrices con el objetivo de conocer cuáles son las variables y procedimientos para obtener una mayor validez y precisión en el conocimiento, así como para mejorar su aplicación en el entrenamiento (Álvaro, 2005). Durante años se dudó de su aplicación al método científico, pero a partir de que su estructuración adoptara los rasgos propios de dicho método, se utilizó como medio para el estudio del comportamiento humano. Su extensión al hecho deportivo sigue siendo hoy hasta cierto punto controvertido, ya que a quien lo hace lo tildan de teórico o de necesitar medios que quienes dominan realmente el deporte

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

no deberían necesitar. Nada más lejos de la realidad. Es obvio que en este sentido parece necesario diferenciar entre el mero espectador que se deja llevar por sensaciones y el experto observador que intenta sacar conclusiones.

Observar es advertir de los hechos como suceden espontáneamente y así registrarlos. La importancia de la metodología observacional en el deporte es crucial dentro del modelo de análisis contextualizado. El hecho deportivo está marcado por su contexto y por la gran cantidad de variables concurrentes. Justamente la imposibilidad de controlar ese contexto interaccional en su totalidad hace necesaria la aplicación de una metodología que nos permita registrar todo lo que ocurre sin dar la espalda al escenario donde ocurre ni a las circunstancias que lo rodean. El **observador** se debe distinguir del espectador por la búsqueda de un diagnóstico final, del conocimiento objetivo y de la razón concreta, mientras que el espectador se basa en su propia opinión.

Los **requisitos básicos** de la observación como metodología son: la sistematización; la espontaneidad, al referirnos al análisis de un comportamiento humano, éste en ningún momento debe estar supeditado a guiones preestablecidos, sino que debe responder a criterios motores y cognitivos propios del individuo analizado y adaptados a las circunstancias lúdico-deportivas correspondientes, y en tercer lugar, el respeto por los contextos naturales en los que se produce el hecho analizado, en este caso el deporte. La sistematización se cumple si la observación está al servicio de un objetivo ya formulado de investigación, es *a priori* planificada, está controlada durante el proceso, está sujeta a comprobaciones de validez y fiabilidad, y es explicable y aplicable a teorías más generales.

Por tanto, la metodología observacional es el procedimiento encaminado a articular una percepción deliberada de la realidad manifiesta con su adecuada interpretación, captando su significado, de forma que mediante el registro objetivo, sistemático y específico de la conducta generada de forma espontánea en un determinado contexto, y una vez que se ha sometido a una adecuada codificación y análisis, nos proporcione los resultados válidos dentro de un marco específico de conocimiento (Anguera, 1988), permitiendo y superando en la medida de lo posible las **fases** exigidas para superar la reproductibilidad y consistencia propias de cualquier método científico: formulación de un problema a observar, definición del espectro de sucesos que hay que observar, determinación de las técnicas de registro, comprobación de la validez y fiabilidad de lo observado y de los

observadores, recogida de datos en condiciones idóneas para la observación del problema, registro de los datos en la herramienta, análisis e interpretación de los datos, y comunicación y divulgación de éstos.

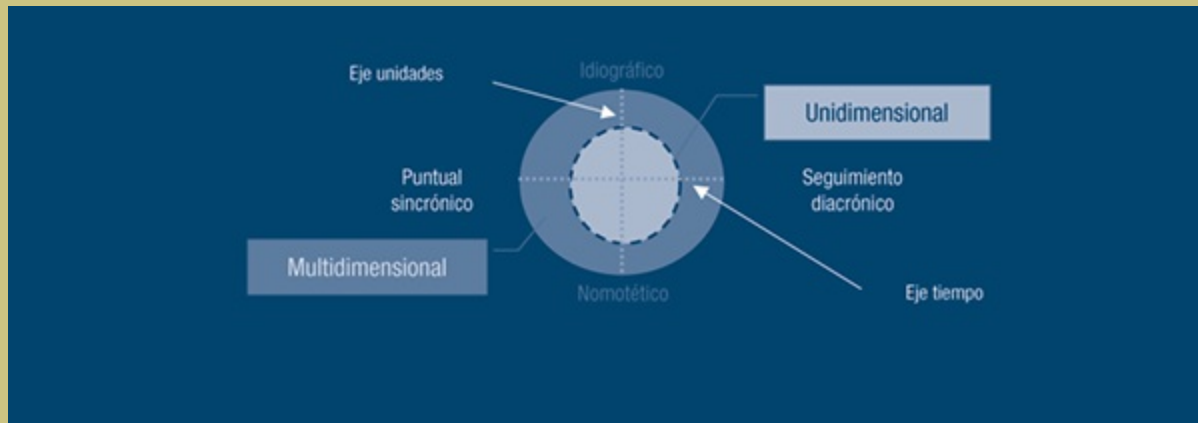


FIGURA 6.35. La observación planteada en relación con el eje temporal.

Adaptado de Hernández A y Molina M. Lecturas: Educación física y deportes.

Planteamiento de la observación

La observación puede ser planteada en relación con el eje temporal bien en un momento puntual, es decir, sin paso del tiempo y por tanto sincrónico, bien mediante el seguimiento a lo largo de un período de tiempo. En relación con el eje de unidades puede plantearse en función de una única unidad a observar o de un conjunto de unidades (figura 6.35).

En relación con la perspectiva de análisis, se puede plantear un estudio lineal y por tanto analítico (p. ej., del lanzamiento del tiro libre, del penalti o del saque), o un **estudio contextualizado** en función de varias dimensiones, en el caso que nos ocupa, los deportes de equipo. Como hemos venido afirmando, lo más lógico es plantear un estudio tridimensional en relación con las dimensiones conductual, evaluativa y contextual (figura 6.36).

Este último tipo de estudio nos procura una visión ecológica del deporte analizado, otorgando la posibilidad de entender el proceso en sí mismo, sin el aislamiento propio de los análisis lineales. Las tres dimensiones definen el hecho deportivo, su contexto y su resultado. Dentro de la dimensión conductual se debe observar los parámetros de acción o comportamiento y/o

intención, que quedan definidos en función del tiempo, la propia tarea y el espacio (figura 6.37).



FIGURA 6.36. Dimensiones de análisis en los deportes de equipo.

Adaptado de Molina JJ. Metodología científica aplicada a la observación del saque en voleibol. Narceulen, 2007.



FIGURA 6.37. Elementos en función de los cuales se definen los parámetros de acción o comportamiento.

Adaptado de Seirul-lo F. Capacidades cognitivas coordinativas y condicionales. Universidad de Coruña, INEF de Galicia, 1993.

La tarea debe reflejarse y quedar definida en cada una de las categorías, las cuales, según Anguera (1988), han de quedar definidas tanto a nivel nuclear

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

como en sus posibles grados de apertura:

- *Núcleo*: contenido básico. Definición: abstracción conceptual. Descripción motriz: narración literaria de una conducta, comportamiento o movimiento.
- *Grado de apertura*: diversidad de ocurrencias, eventos o conductas que participan de un mismo núcleo. Son las características moduladoras, los matices o cualidades de una conducta concreta.

Estas categorías deben cumplir con los rasgos de exhaustividad y mutua exclusividad. A pesar del cumplimiento de todos y cada uno de estos rasgos y de que el universo de sucesos quede completamente definido, en ocasiones la metodología observacional presenta un problema de difícil solución: la imposibilidad de observación del pensamiento, de suma importancia para la comprensión del comportamiento. Este problema lo intentan solucionar algunos trabajos de investigación abriendo la posibilidad de que los deportistas contesten a preguntas realizadas sobre su pensamiento táctico.

En realidad, lo que la metodología observacional analiza es sólo el último escalón del proceso: la ejecución. Ahora bien, lo analiza definiendo con minuciosidad las tres dimensiones.

En relación con la **dimensión conductual** se debe definir:

- **Espacio**:
 - Físico: plano horizontal/vertical.
 - Lateralidad/profundidad.
 - Angulación/dirección.
 - Altura de paso/altura de golpeo.
 - Estratégico: formal y funcional.
 - Lugar de ubicación/zona de responsabilidad.
 - Estructura de recepción/dispositivo funcional del sistema.
- **Tiempo**:
 - Determinación cuantitativa del factor tiempo.
 - Cuantificación de intervenciones por unidad de tiempo.
 - Velocidad.

En relación con la **dimensión contextual**, el contexto puede quedar definido en el aspecto ambiental, competitivo y lúdico. Cada uno de ellos tiene una incidencia sobre el juego que en algunos momentos llega a ser

determinante. En el contexto ambiental hay que considerar aspectos meteorológicos (humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, etc.), geofiticotemporales (altura al nivel del mar, latitud-longitud, horario, etc.) y deportivos (número de espectadores, casa-fuera, sentimiento social, prensa, etc.). En el contexto competitivo hay que considerar el reglamento interno de la competición (número de sets, cambios permitidos, etc.), el carácter o carga de la competición (amistoso-oficial, doméstico-internacional), calendario, clasificación y estadísticas de enfrentamientos anteriores. En el contexto lúdico hay que considerar el marcador (tendencia, corriente, parcial), la posesión, tiempo de juego/set, carga del set o del momento de juego, rotación del equipo, paso de rotación e interrupciones.

Por último, en relación con la **dimensión evaluadora** se realizará la valoración de cada una de las acciones en función de su resultado. Existen deportes en los que es sumamente fácil desarrollar dicho tipo de valoración; además son deportes en los que este tipo de valoraciones se llevan realizando años e incluso están avaladas por grandes expertos en la materia. Sin embargo, en otros deportes es difícil aplicar dicha dimensión, como es el caso del fútbol, en el que parece tener el mismo valor un tiro que termina en el córner que uno que termina rebotando sobre la cruceta de la escuadra, deportes en los que la escala evaluadora debería trabajarse con más profundidad.

El registro y la calidad de los datos

Toda observación que se precie debe superar una serie de exigencias para tener la seguridad de que el registro de los datos no va a experimentar ningún tipo de sesgo. Estos sesgos, según Fernández Ballesteros (1987), pueden proceder del sujeto observado, del observador y del sistema de observación. De la misma manera, es necesario someterse a un cálculo de calidad de los datos. Con todo ello se consigue una aproximación cuantitativa a su validez y fiabilidad.

Los sesgos mencionados pueden aparecer durante la recogida de datos y en las sesiones de observación. La naturaleza de estos sesgos proviene del ambiente o de la referencia. Con el propósito de que las tomas no se vean empañadas por estos sesgos hay que seguir una serie de **estrategias metodológicas** de referencia:

- La grabación de los partidos debe ser realizada desde una o varias cámaras
- *****ebook converter DEMO Watermarks*****

fijas situadas en los distintos planos: posterior, lateral y superior a la cancha de juego.

- El ángulo de grabación de constante ha de ser aproximadamente de 45°.
- La situación de las cámaras debe impedir ángulos muertos para así posibilitar la visualización de todas las acciones de los dos equipos en cualquier punto del campo, permitiendo además que durante la reproducción se aprecie la totalidad del campo con la mayor claridad posible.
- Se debe realizar la grabación de la totalidad del juego sin interrupciones de la grabación.
- Enfoque de grabación: con el zoom en la posición de máximo alejamiento se inclina la cámara hasta que una referencia fija longitudinal aparezca en la parte inferior del objetivo. Por ejemplo, una línea paralela al suelo.
- Las filmaciones deben realizarse en pabellones, recintos o campos de características semejantes que cumplan además las condiciones reglamentarias concernientes a las dimensiones, luz y temperatura.

El hecho de que alguna de las tomas incumpla las condiciones de estas estrategias metodológicas debe ser motivo para que sea considerada observación nula y por tanto desestimada.

Además, la herramienta construida para registrar la observación debe cumplir con las exigencias de validez y fiabilidad. En cuanto a la **validez**, hay que considerar si medimos realmente lo que pretendemos medir (validez de constructo), si el contexto en el que se realiza el estudio es válido para generalizar (validez semántica) y si las conductas ocurridas son todas las posibles con respecto a las posibles tomadas de una muestra global (validez de contenido). En cuanto a la **fiabilidad**, hay que considerar que el registro se repita con el paso del tiempo (fiabilidad por estabilidad), en distintas circunstancias (fiabilidad por reproducibilidad) y para distintos observadores (fiabilidad por consistencia).

Una vez comprobada la herramienta, se debe proceder a la **recogida y registro** del primer nivel categórico o categorías primarias, para lo cual, con el fin de buscar mayor calidad de los datos y evitar sesgos propios tanto del proceso de observación como del observador, se debe adoptar los principios propios de la estrategia racional (Anguera, 1997):

- Redefinición conceptual de las categorías registradas, o en su defecto planteamiento de agrupamientos.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Las filmaciones se deben observar en el mismo equipo reproductor y en las mismas circunstancias ambientales: horario y luz.
- Antes de comenzar cada nueva sesión se repasarán las últimas 20 unidades de observación tomadas en la sesión de registro de datos anterior con el fin de mantener una buena constancia intersesión (Gorospe, 1998).
- Mientras se realiza la observación, con la intención de evitar las fluctuaciones del observador y por tanto mantener la constancia intrasesión (Anguera, 1997), en un expositor adjunto se debe mostrar de forma constante las decisiones a adoptar con las variables más problemáticas.
- Cada una de las sesiones de observación debe estar dividida en períodos de un máximo de 25 min, seguidas por 5 min de descanso obligatorio.
- El sesgo de expectancia del observador único o múltiple, así como la validación del instrumento *ad hoc* (Anguera *et al.*, 2000), se concretan mediante el estudio inter e intraobservadores, con el cálculo del acuerdo y concordancia mediante el cálculo del acuerdo simple y el Kappa de Cohen, así como el cálculo de la correlación inter e intraobservadores con el cálculo de Phi y V. de Cramer para variables nominales, y la correlación de Spearman para variables ordinales.

Por último, y con la intención de que los valores de acuerdo y correlación sean muy altos y alcancen los valores de fiabilidad mínimos exigidos, se debe realizar un **proceso de entrenamiento** que a continuación detallamos:

- Selección del grupo de al menos seis observadores y distribución por escrito del sistema de categorías y de la hoja de registro.
 - Formación de dos grupos de trabajo.
 - Explicación de las categorías.
- Visualización de ejemplos sacados de situaciones competitivas y grabaciones en vídeo.
 - Registro conjunto y guiado de la mitad de un parcial (medio tiempo de un partido de fútbol o balonmano, un cuarto de uno de baloncesto o de waterpolo, una entrada en un partido de béisbol o un set en voleibol o tenis) mediante concordancia consensuada (logro de acuerdo entre observadores anterior al registro) (Anguera, citado por Hernández-Mendo, 2000).
 - Determinación de estrategias a seguir con las variables más conflictivas.
- Registro individual.
 - Cada uno de los seis observadores visualiza y registra un parcial de la

- muestra total de partidos.
- Visualización de ese mismo parcial por cada uno de los observadores pasados al menos 10 días.
 - Comprobación posterior del acuerdo alcanzado.
 - Selección de los dos observadores de mayor nivel de concordancia interna.
 - Registro conjunto de los dos observadores seleccionados.
 - Registro conjunto y guiado de la mitad de un parcial mediante concordancia consensuada.
 - Determinación de las estrategias y procedimientos a seguir con las variables más conflictivas.
 - Comprobación posterior del acuerdo alcanzado mediante concordancia consensuada.
 - Registro final de un partido completo.
 - Comprobación de consistencia en la observación de todas y cada una de las categorías.
 - Comprobación y consistencia del grupo de observadores mediante el cálculo del acuerdo simple, así como el cálculo de la correlación inter e intraobservadores.
 - Desestimación de los menos fiables.

Herramientas e instrumentos

El proceso de recogida, almacenamiento y tratamiento de los datos obtenidos a partir de la observación del juego es cada vez más determinante en la optimización del rendimiento de los jugadores y del equipo. Por ello, es necesaria la utilización de **herramientas e instrumentos de evaluación** adecuados. El análisis de los deportes de equipo se ha realizado de una forma imprecisa y variada (Franks y Goodman, 1986), y es constatable la evolución que se ha producido en las técnicas de investigación, centradas principalmente en la recogida y en el tratamiento de los datos a partir de la utilización del ordenador.

El desarrollo informático que se ha producido desde la década de 1970 nos ha permitido disponer de aplicaciones tecnológicas vinculadas al ámbito del deporte que se han convertido en elementos de apoyo para los entrenadores y que aportan rigor metodológico y precisión en la toma de datos (Morante y Villa, 2002; Garganta, 1997).

Según Dufour (1993) y Hughes (1996), la **evolución de los medios de**

registro se ha producido de la siguiente manera:

- Técnicas de registro manual. Utilizando esta técnica se registran las acciones de los jugadores mediante una serie de códigos en planillas diseñadas a tal fin. Con frecuencia la observación se realizaba en directo. Hoy en día se sigue utilizando esta técnica, sobre todo en las fases iniciales de las investigaciones, cuando no se dispone de los medios técnicos adecuados o cuando no es necesaria una mayor complejidad tecnológica por las características intrínsecas de la investigación (Reep y Benjamin, 1968).
- Combinación de las técnicas de registro manual con el relato oral para el magnetófono. La información registrada en las planillas se complementa con la grabación en magnetófonos de audio de la narración del partido o de determinados códigos (Godik y Popov, 1993; Reilly y Thomas, 1976).
- Utilización del ordenador con posterioridad a la observación para el registro, almacenamiento y análisis de los datos.
- Utilización del ordenador para el registro simultáneo de datos, tanto si la observación se realiza en directo como si se realiza en diferido. El teclado convencional se sustituye por otro en el que aparecen las categorías observadas y por una mesa de digitalización en la cual se asignan y especifican las acciones (Church y Hughes, 1988). En algunos sistemas, la mesa de digitalización y el teclado se integran en una única pieza informática. En otros sistemas, las teclas aparecen superpuestas en el terreno de juego (Álvaro, 2005; Loy, 1994; Partridge y Franks, 1993; Hughes, 1988).

La difusión y el desarrollo de la informática han permitido la creación de una amplia gama de **programas informáticos específicos** creados para el registro de la acción de juego. Estos sistemas ofrecen nuevas e interesantes posibilidades como el operar con gran cantidad de datos, la mayor rapidez del proceso, la aplicación de nuevas técnicas de análisis de datos, la incorporación de imágenes como elemento complementario para el análisis del partido, etc. Con el desarrollo de las PDA y del “Table PC”, este tipo de sistemas ha evolucionado notablemente.

Como ejemplo, entre los sistemas desarrollados para el fútbol podemos encontrar:

- “MEMOBSER” (Doucet, 1986). Este sistema permite registrar y

memorizar informaciones sobre la ocupación del espacio de juego, los pases y las pérdidas y/o recuperaciones del balón.

- “SAGE” (*Sport Analysis and Game Evolution*). Permite realizar análisis, por jugador y por equipo, de distintos aspectos como pases, control, conducción de balón, interceptación, duelo, tiempo de posesión del balón y fragmentos constantes del juego (Luthanen, 1993).
- “Soccer 75”. Partiendo de un código de 34 parámetros se recogen las acciones de juego para cada jugador. Posteriormente se reúnen y codifican 14 parámetros (el número de contactos con el balón, el número de balones jugados correctamente, el número de *tackles*, el número de remates dentro y fuera de la portería, el número de goles marcados y encajados, etc.) (Chervenjakov *et al.*, 1988).
- FARM (*Football Athletics Results Manager*). Sistema informático modular que permite en tiempo real catalogar, cruzar y elaborar informaciones técnicas y tácticas. Este sistema analiza acciones del atacante en posesión del balón, del atacante sin posesión del balón, del defensor y de las zonas del terreno de juego, teniendo en cuenta también aspectos temporales de las acciones (Bacconi y Marrella, 1995).
- Introducción a través de la voz de los datos en el ordenador (Taylor y Hughes, 1988). Al utilizar el ordenador en el proceso de observación y análisis del juego, uno de los mayores problemas es la introducción de la información. Dufour (1982), junto a expertos en informática, desarrollaron un sistema que permite observar de manera sistemática los comportamientos de los jugadores. Este programa, que permite realizar el seguimiento de un equipo en tiempo real (Dufour y Verlinden, 1993), analiza variables relacionadas con la dimensión técnica del comportamiento de los jugadores desde un punto de vista cuantitativo.
- Registro de datos basados en la integración de la informática con la imagen. Este sistema está basado en la integración de la informática con la imagen, de manera que la imagen se visualiza y analiza utilizando el ordenador. A través de 16 variables seleccionadas y divididas en categorías, Claudino (1993) propone caracterizar los comportamientos de un equipo en la fase ofensiva y verificar la coincidencia entre el tipo de juego realizado y el modelo de juego pretendido por el entrenador.

Las tendencias actuales en la investigación de las acciones de juego en los deportes de equipo se orientan hacia los sistemas de vídeo capaces de

identificar automáticamente los movimientos de los jugadores en el espacio de juego y que posibilitan el registro inmediato de los eventos más relevantes.

En la actualidad, las principales tecnologías aplicadas a los deportes de equipo se dividen en *software* para el análisis táctico y estratégico y para el control estadístico del rendimiento, y *software* para el control y la planificación del entrenamiento (Morante y Villa, 2002).

Software para el análisis táctico y estratégico y para el control estadístico del rendimiento

Mediante la instalación de cámaras fijas que captan todo lo que sucede en la superficie de juego se obtiene el plano de visión deseado, reduciendo así el sesgo de la información que producían sistemas anteriores (figura 6.38).

Estos sistemas (Computer Controlled Dual Video System-CCDVS, AMISCO-SPORT UNIVER-SAL PROCESS, ProZone) permiten captar las imágenes de la totalidad de la superficie del juego, visualizando los movimientos de los jugadores de ambos equipos (figura 6.39).

Además, permiten generar una base de datos con las distintas acciones seleccionadas. Con posterioridad a la competición, el *scouter* puede seleccionar los eventos de las distintas categorías que desea observar: las acciones tecnicotácticas que realiza cada jugador, las secuencias de juego, los datos cuantitativos y cualitativos, la actividad física de los jugadores a través de la determinación del número y tipo de actividades, así como la distancia recorrida a diferentes velocidades, las áreas de ocupación del campo, la reconstrucción tridimensional del juego para observarlo desde distintas perspectivas, etc. (Zubillaga, 2006; Erdmann, 1993; Winkler, 1991).

Otros sistemas muy utilizados en hockey, waterpolo, fútbol americano, softball, béisbol, baloncesto, voleibol y fútbol (Focus, Sortabal, Data Project Sport Software, Assistant Basketball Coach, Digital Scout, Digital Video Sport, ProZone, Nac Sport, Proscout, Basisc Trainer Tools, Voleiball Ace, Team Edition Statware) permiten realizar montajes de imágenes a través de la grabación digital para realizar análisis tácticos y técnicos, así como su utilización como base de datos (figura 6.41).

Estas herramientas posibilitan la utilización del videoanálisis como herramienta educativa que permite acelerar el proceso de aprendizaje y mejorar el rendimiento de los jugadores (figura 6.42).

El desarrollo de pequeños paquetes de *software*, de aplicaciones que

incrementan la velocidad de gestión de datos y la posibilidad de utilizar Internet para ofrecer servicios son algunos de los desarrollos que se ofrecen en la actualidad.

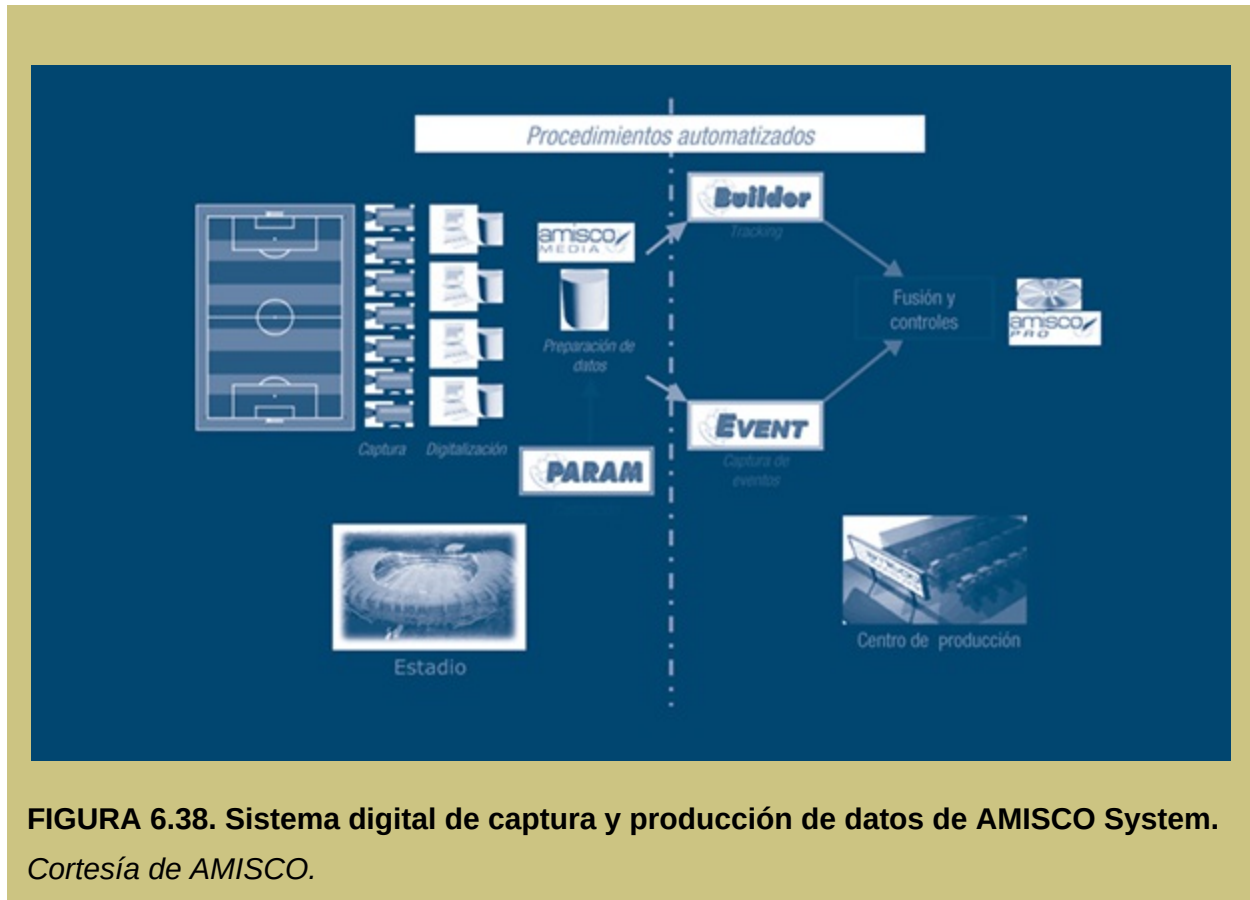




FIGURA 6.39. Generación de una animación de la distancia entre líneas y jugadores a partir de la imagen real.

Cortesía de AMISCO.

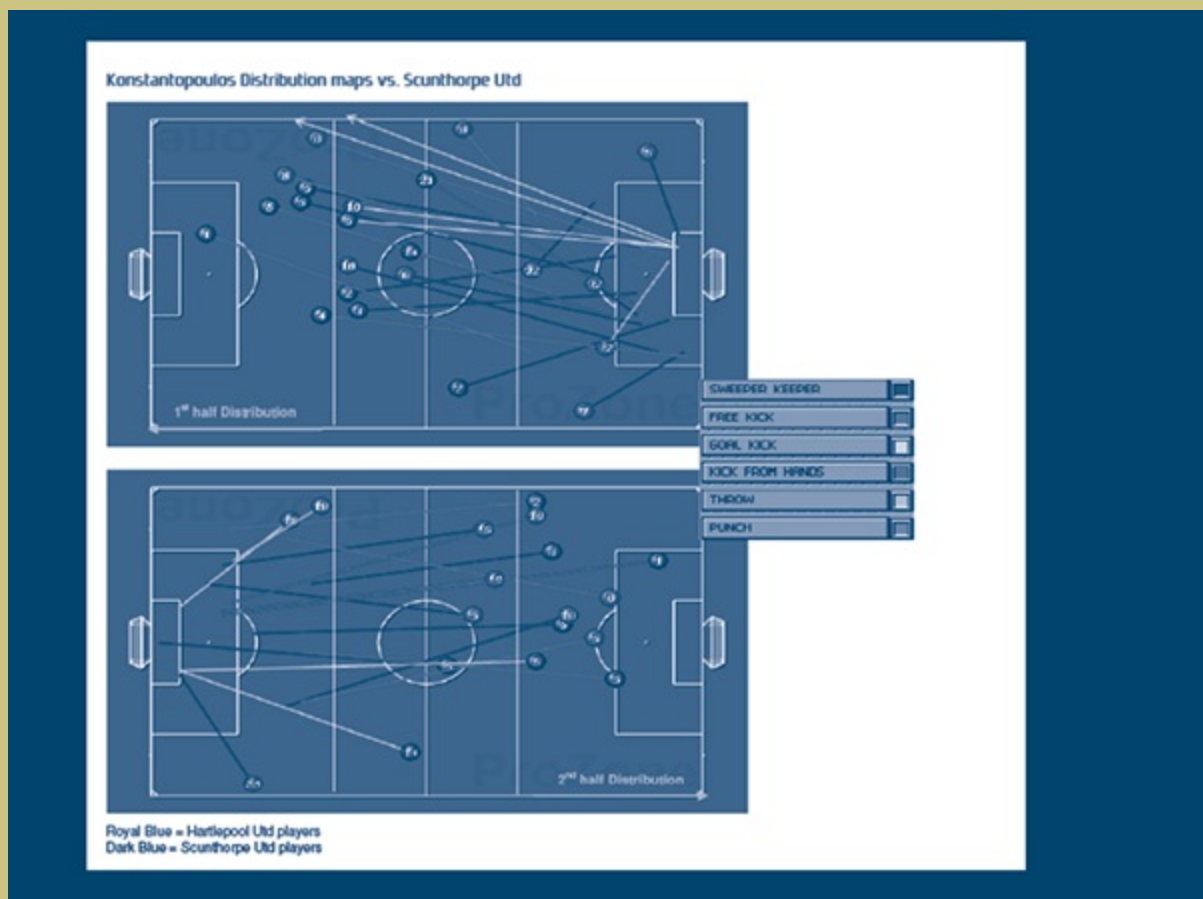


FIGURA 6.40. Selección de las acciones técnico-tácticas realizadas por un jugador con relación al espacio durante el transcurso de un partido (ProZone).

Original de los autores.

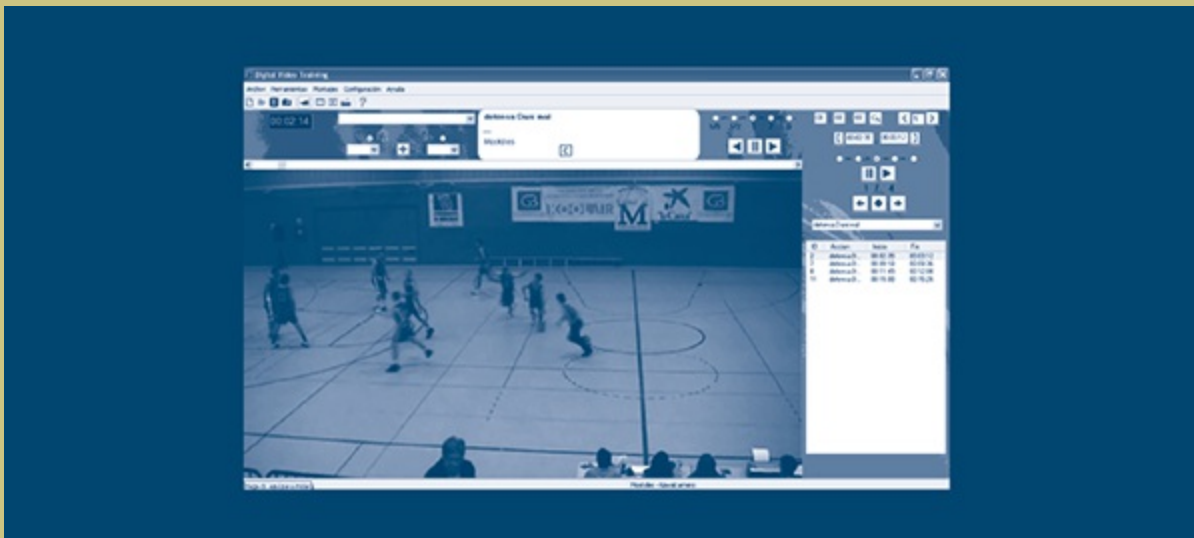


FIGURA 6.41. Captación de imágenes y análisis táctico realizado con Digital Video Sport.

Original de los autores.



FIGURA 6.42. Montaje de imágenes y análisis técnico realizado en voleibol con Kinovea.

Original de los autores.

Una de las alternativas más actuales para mejorar el seguimiento, el control

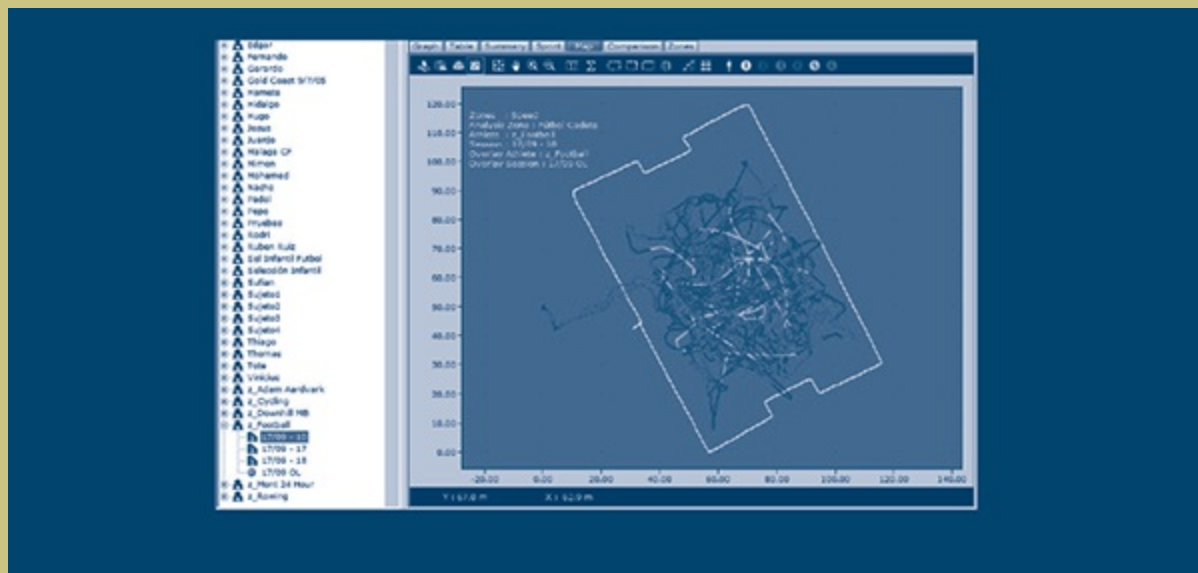
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

y la evaluación del rendimiento deportivo son las tecnologías GPS (figura 6.43). Este sistema obtiene los pares de coordenadas a través de un GPS que lleva el jugador en el transcurso del partido o del entrenamiento, que permite determinar su posición exacta y conocer las acciones realizadas, el espacio o la zona en las que las realiza, los metros recorridos, las intensidades de cada esfuerzo, etc. (figura 6.44). Pese a que la tecnología GPS es de gran precisión y aporta información en tiempo real, presenta algunas limitaciones, ya que no se puede aplicar aún a deportes que se desarrollan en el interior de un espacio cerrado y además su coste económico es muy alto (Barbero y Castagna, 2007; Pino *et al.*, 2007).



FIGURA 6.43. GPSport SPI PRO.

Cortesía de GPSportSPAIN.



Otro de los sistemas actuales son las tecnologías RFID (identificación por radiofrecuencia). Mediante el sistema RFID, los jugadores portan una pequeña etiqueta RFID activa que emite de manera periódica un código con la información del jugador. Los sensores situados alrededor del campo de juego reciben la señal y estiman la posición de cada uno de ellos (Portillo *et al.*, 2005).

Este tipo de aplicaciones incorporan bases de datos y hojas de cálculo estructuradas que permiten el registro de entrenamientos y partidos, y el control y seguimiento del jugador (figura 6.45). PRO Planning Profesional, Voley Train 2.0, Data Voley, Win-Bol Pocket, X-Training Fussion, Gesdepro, Futbol Train, PC Coach Elite y Xtraining Olympics son algunas de ellas, que además presentan aplicaciones cuyo objetivo es facilitar la planificación del entrenamiento mediante el establecimiento y el registro de distintos ciclos y períodos de preparación calculando magnitudes de carga.

Estas tecnologías se están empleando de diferentes maneras. Por un lado, se utilizan de manera directa en la competición para analizar el comportamiento del propio equipo y el del adversario, para preparar la competición, para comparar rendimientos entre competiciones, comparar a jugadores, programas de entrenamiento, etc. (Riera, 1995; Greco *et al.*, 1990). En la figura 6.46 podemos observar un ejemplo del empleo de esta tecnología para comparar el rendimiento entre jugadores de la selección española de balonmano. De manera rápida podemos comparar, entre otras, variables tales como el número de goles, los lanzamientos y su porcentaje de eficacia, los lanzamientos desde diferentes distancias y zonas, el porcentaje de acierto para cada variable y la actuación defensiva y ofensiva de los jugadores. Por otro lado, estas tecnologías también tienen una aplicabilidad de manera no tan inmediata pero sí a largo plazo con el objetivo de establecer pautas de acción común a los equipos que son ganadores, analizar competiciones, etc. En la figura 6.47 podemos observar la puntuación obtenida por los jugadores participantes en la 1ª división de fútbol española en función del valor asignado a diferentes variables del juego, como son los goles, los remates, las faltas, las pérdidas y las recuperaciones del balón. De esta forma se puede obtener una clasificación mediante el valor o el peso que se asigna a cada variable y comparar la aportación de cada jugador en la competición jornada a jornada o por grupo de partidos.

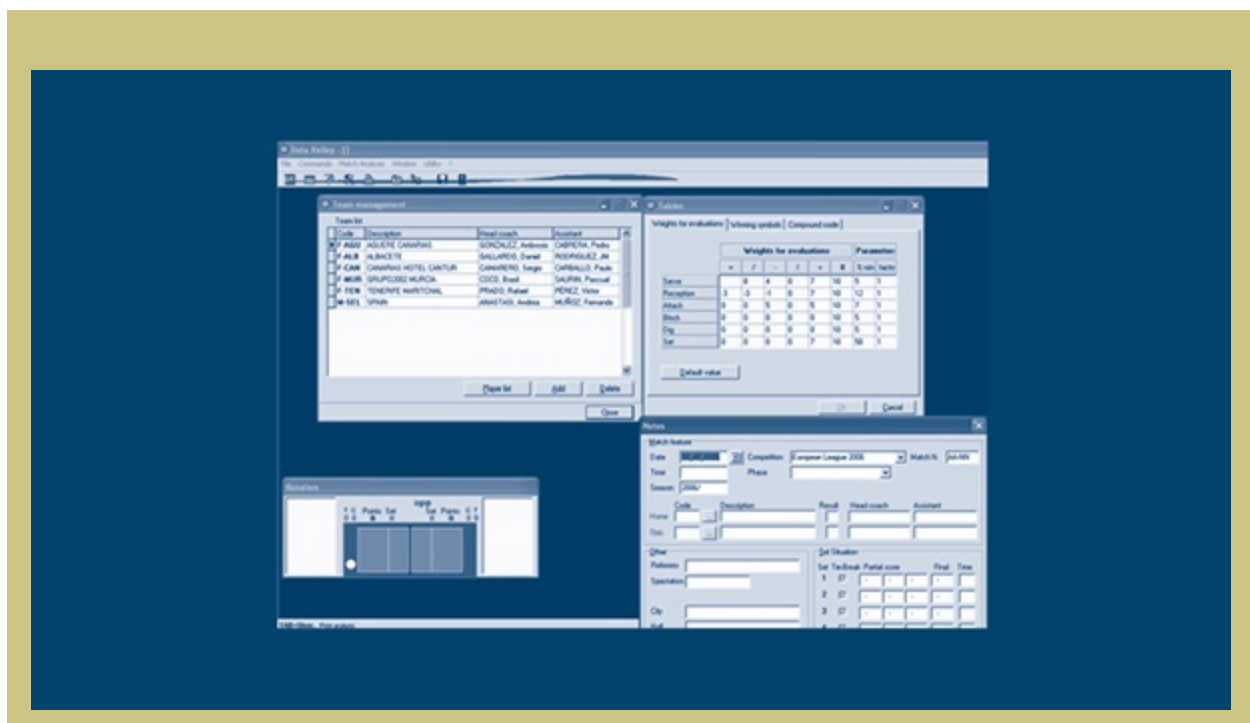


FIGURA 6.45. Consulta de datos realizada la base de datos de Data Voley.

Original de los autores.

Cumulative Statistics

ESP - Spain
After 6 Matches

Coech: PASTOR GOMEZ Juan Carlos

Time outs: 9

No.	Name	M	Total	All Goals / Shots										Punishments				Offence				Defence				TP
		P	Goals	Shots	%	7mP	7mC	6mC	Wing	BT	FB	9m	YC	RC	2M	2+2	EX	AS	R7	TO/TF	ST	BS	P7			
1	ROMERO SANCHEZ Jose Angel	6																						5:05:14		
2	ENTRERIOS RODRIGUEZ Nabe	6	22	40	55			2/2	3/8	2/2	3/3	12/27			2			20	8	13/3	2	2	3		2:51:43	
4	ROCAS COMAS Albert	6	25	41	61	15/18	80	9/2	9/18		1/2	9/1	4					3		1/3	3		2		4:23:39	
5	ENTRERIOS RODRIGUEZ Iba	6	13	23	57			5/1	1/1	3/4	2/3	6/14			1			16	6	11/4		2	1		3:08:28	
6	SABARITA ARENAS Roderi	6	21	25	84			18/21	2/2		1/1	9/1	3		2			9	9	2/10	2	3	4		3:56:02	
8	DELALISTEGUI RUANO Im	6	9	17	53			5/1	1/2			7/14	1		2			2		6/1	2	1	1		2:40:33	
12	DEIRA MENDEZ Jose Manuel	6																							54:30	
13	SANCIA RUIRRODIO Iñaki	2	3	6	50			1/1	0/3		2/2							1	2	1/2	2				1:15:00	
15	DAVILA CAMARUA David	5	3	6	50				2/4		1/2				2			1	1	1/1	1				2:06:09	
17	SANCIA LORENZANA Juan	6	28	43	65	7/9	75		10/17	1/1	10/14	9/2	1					2	1	3/1	3		1		3:53:00	
18	ROMERO FERNANDEZ Iba	5	17	37	46	5/8	63	9/1	1/1	1/1	1/1	9/25	1					5	2	3/1					1:45:48	
19	ORTIGA MARTINEZ Iñaki	4	9	21	43			9/2	9/2	3/2	7/15							11	1	7/3	3				2:29:15	
20	RODRIGUEZ VILLUERO Jose	6	10	14	71				9/1	1/1	4/5	5/7	2	1				7		9/3	1				2:12:20	
24	AGUIRRE GARCIA Iñaki	6	13	18	72			11/15	2/3									2	5	3/5	3		4		2:08:36	
25	ANTONIO MARCOS Aitor	6												3		5						3	5	3	2:24:38	
26	RUISSA PASARIN Carlos	2	7	11	64			1/1	1/1	2/2		3/7						1		/1	2				43:03	
Team																									1	
Totals			180	302	60	27:35	77	39:45	32:61	10:13	27:05	49:13	17	18				80	35	60/39	27	12	20		6:00:00	

Legend:

G/S	Goals/Shots	%	Efficiency	6m	6-metre Shots	7m	7-metre Shots	9m	9-metre Shots
S/S	Saves/Shots	Wing	Wing Shots	FB	Fast Breaks	BT	Breakthroughs	EX	Exclusions
AS	Assists	TP	Technical Faults	ST	Steals	BS	Blocked Shots	TP	Time Played
YC	Yellow Cards	RC	Red Cards	n/a	not applicable	PL	Placement	MP	Matches Played
PR	Preliminary Round	QF	Quarterfinal	SF	Semifinal	GM	Gold Medal Match	BM	Bronze Medal Match
2M	2 Minute Suspensions	DDO	Disqualified						

FIGURA 6.46. Estadística acumulada de la selección española de balonmano tras jugar 6 partidos en el Campeonato de Europa de 2008. All goals/Shots: todos los goles/tiros; Punishments: penalizaciones; Offence = ataque; Defence: defensa; MP: partidos jugados; Goals: goles; Shots: tiros; 7mP: tiros desde 7 m; 6mC: tiros desde 6 m; Wing: sin traducción; BT (Breaktroughs): sin traducción; FB (Fast Breaks): sin traducción; 9m: tiros desde 9 m; YC: tarjetas amarillas; RC: tarjetas rojas; 2M: 2 min de exclusión; EX: expulsiones; AS: asistencias; R7: sin traducción; TO/TF: sin traducción; ST: robos de balón; BS: tiros bloqueados; P7: sin traducción; TP: tiempo jugado.

Original de los autores.



FIGURA 6.47. Clasificación de los jugadores en función del criterio “Puntos” asignados a cada variable.

Cortesía de GECASPORT.

De manera detallada podemos señalar algunos de los objetivos de estas aplicaciones (Lorenzo, 2007; Franks *et al.*, 1983):

- Obtener información sobre las áreas objeto de mejora. A partir del análisis de la propia actuación, se puede mejorar el rendimiento. Para ello se realizan análisis que van desde las situaciones colectivas hasta los trabajos individualizados, de modo que se pueda mejorar tanto aspectos individuales como colectivos.
- Obtener información inmediata de lo que está sucediendo en la competición y poder tomar decisiones acertadas. Éste es uno de los objetivos en el que más se está trabajando actualmente. Para ello se utilizan sistemas de gestión de imágenes y “Table PC”.
- Desarrollar una base de datos. Los datos se registran en diferentes momentos (en el transcurso de un partido, en el entrenamiento, etc.). Los datos se almacenan y con posterioridad se analizan y evalúan. Este tipo de bases de datos se utilizan también para planificar, crear equipos y contratar

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

jugadores.

- Evaluar. Mediante la comparación del rendimiento con los objetivos programados en distintos momentos de la temporada, entre equipos, etc.
- Buscar información de manera selectiva para el equipo o para jugadores concretos.
- Analizar todos los elementos implicados en la competición (declaraciones, entrenadores, tiempos muertos, informes arbitrales, etc.).
- Corrección de errores (AMISCO, ProZone, Silicon Coach Time Warp, Digital Video Training).
- Formación de entrenadores, jugadores y árbitros (FIBA Europe, FIFA).
- Elaboración de gráficos (Coaches'Edge, Play Book).

Pese al gran avance que está proporcionando en el análisis de la competición y el entrenamiento de los deportes de equipo la utilización de tales tecnologías, éstas no están exentas de limitaciones, pues son sistemas que generan la acumulación de gran cantidad de información que debe ser analizada adecuadamente. Según Franks (1988), lo importante para el rendimiento no es un sistema computarizado, sino la recopilación cuantitativa de parámetros explicativos. Con estos sistemas se ha resuelto el registro y la obtención de datos, pero se ha generado un problema que afecta la obtención de información relevante y resumida a partir de los numerosos y en ocasiones excesivos datos. Por otro lado, algunos de estos sistemas generan y proporcionan la información una vez ha finalizado el partido, lo que permite mejorar las tomas de decisión para próximos partidos, pero no en el transcurso de la competición actual. Algunos sistemas más ágiles facilitan la información en el descanso del partido, lo que demanda una rápida y acertada intervención del entrenador para que esta información pueda ser utilizada de manera eficaz y operativa en la propia competición (ProZone). La utilización de estas tecnologías no está exenta de fallos que se producen durante el proceso de toma de datos ya sea por fallos del sistema, del *hardware* o del *software*, a los que además debemos añadir los errores humanos que se cometen al introducir los datos en tiempo real. La evolución de las tecnologías digitales se presenta como la línea de desarrollo futura que permitirá gestionar una mayor cantidad de información a través de procesadores más potentes, el desarrollo de un *software* más sencillo y potente para introducir los datos, mejores sistemas de control de calidad y una mayor rapidez en el tratamiento de las imágenes.

No obstante, como señalan Álvaro (2005) y Zubillaga (2006), la utilización de la tecnología no ha provocado la estandarización de las observaciones, sino su mayor diversificación. La facilidad de manejo de grandes cantidades de información hace que se recopile un mayor volumen de datos, pero sin referencia a modelos de análisis que determinen su pertinencia, por lo que en numerosas ocasiones se tiene excesiva información que no resulta accesible ni operativa. Debido a ello, es necesario realizar una conceptualización correcta y específica del deporte que se debe analizar, que además permita establecer un proceso lógico de observación, registro y análisis de la acción de juego (Grosgeorge, 1992; Franks, 1988).

Indicadores que se debe evaluar

Distintas líneas de estudio se han ocupado de analizar la competición bajo el descriptor “Match Analysis” (Sport Discus, 2007), en el que se incluyen las investigaciones y los estudios que desarrollan procedimientos objetivos de control y análisis de los partidos para su aplicación en el proceso de entrenamiento de equipos y jugadores. En estos estudios debemos diferenciar entre los que abordan elementos de carácter técnico, táctico y/o estratégico y los que analizan parámetros de tipo físico y fisiológico. Nuevas líneas de investigación están abordando de manera conjunta e integrada la combinación de ambos elementos en un intento por valorar la incidencia del contexto estratégico en el que se desarrolla el partido junto a la actividad física desarrollada por el jugador, así como las interacciones y dependencias que surgen entre ambas. Los principales **indicadores que se debe evaluar** hacen referencia al control y evaluación del esfuerzo, de las conductas y del rendimiento.

Control y evaluación del esfuerzo: carga interna y externa

El análisis de la actividad física que desarrolla un jugador en el transcurso de un partido es un referente básico e imprescindible para determinar sus necesidades de entrenamiento y, de acuerdo con ellas, seleccionar los medios que permitan optimizar su rendimiento. Para el **control y la evaluación del esfuerzo** que realiza el jugador en la competición necesitamos valorar las adaptaciones y demandas de tipo fisiológico y energético que se producen en

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

el deportista durante un partido. Para ello, se utilizan indicadores internos y externos.

Indicadores internos. Son los parámetros no visibles desde el exterior que permiten valorar la carga fisiológica, así como el índice de participación de las vías metabólicas y los efectos orgánicos que se producen en el deportista como consecuencia de la carga a la que es sometido en la competición. Entre ellos encontramos la FC, la lactacidemia, el VO_2 máx., el glucógeno muscular, etc.

Indicadores externos. Son los parámetros directamente observables que valoran la carga física o el entorno condicional, permitiendo definir el perfil de esfuerzos de un deporte y de cada jugador, como son la distancia recorrida, el tipo y la intensidad de los desplazamientos, la duración de los mismos, las intensidades parciales, las relaciones actividad-pausa, los saltos, etc.

La aplicabilidad de los indicadores internos y externos en estas modalidades deportivas se ha descrito en el capítulo 4 (apartado 4.1).

Control y evaluación de las conductas

El objetivo del **control y evaluación de las conductas** es analizar y evaluar las acciones motrices referidas fundamentalmente a las manifestaciones tecnicotácticas en el manejo de los móviles. A partir del análisis de las distintas acciones tecnicotácticas y estratégicas que ocurren durante un partido, así como de las interacciones que se producen entre los elementos que configuran la estructura del juego, es posible aproximarnos a un conocimiento más preciso y específico de la competición.

Existe una gran diversificación de las perspectivas que desde cada una de las modalidades de los deportes de equipo plantean los especialistas para definir los parámetros que interfieren en la configuración estratégica de la acción del juego en cada deporte (Zubillaga, 2006; Álvaro, 2005; Pino, 2002). Este tipo de evaluación es específica y propia de cada deporte de equipo, por lo que demanda el establecimiento previo de los contenidos a observar y de los criterios de evaluación. En general, se evalúan conductas tecnicotácticas individuales y colectivas.

Las conductas tecnicotácticas individuales. En el plano ofensivo se analizan las acciones tecnicotácticas cuyo objetivo es el mantenimiento de la posesión del balón, la progresión y la comunicación y finalización de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

acción ofensiva: saques, conducciones, botes, regates, pases, asistencias, tiros, remates, lanzamientos, recepciones, controles, transmisiones, patadas (rugby), bateos, goles, tantos, canastas, etc. (tablas 6.14 y 6.16). En el plano defensivo se analizan las acciones tecnicotácticas cuyo objetivo es recuperar la posesión del balón y dificultar, condicionar, interrumpir y anular las acciones ofensivas del adversario: placajes, cargas, blocajes, bloqueos, desvíos, recepciones, despejes, interceptaciones, entradas, recuperaciones, paradas, capturas, faltas, violación del espacio, rebotes, etc. (tablas 6.15 y 6.16).

TABLA 6.14. Análisis de habilidades técnicas en selecciones participantes en la Eurocopa de fútbol de 2004

	<i>Portugal</i>	<i>Grecia</i>	<i>España</i>	<i>Rusia</i>	<i>Francia</i>	<i>Inglaterra</i>	<i>Croacia</i>	<i>Suiza</i>
Pases	1035	418	881	551	594	562	449	336
Recepciones	792	356	667	491	119	143	81	66
Tiros	33	14	8	10	-1	21	14	12
Rebotes	86	52	39	53	148	119	120	94
Regates	251	71	139	95	162	60	136	53
Golpeos de cabeza	152	140	72	99	122	181	145	96
Pases cruzados	83	35	80	33	47	58	41	37
Entradas	14	94	31	57	113	115	160	138
Total frecuencia	2.446	1.180	1.917	1.389	1.304	1.259	1.146	832
Media	305,7	147,5	239,6	173,6	163	157,3	143,2	104

Adaptado de Hughes MD y Maloney C. J Sports Sci Med 2007;Suppl.10:6-11.

TABLA 6.15. Análisis del rendimiento de bloqueos individuales realizados por los integrantes de un equipo de voleibol en el transcurso de un set

<i>Jugador</i>	<i>E</i>	<i>E-</i>	<i>B</i>	<i>B+</i>	<i>C+</i>	<i>C</i>	<i>AC</i>
Jugador 1	5	3	4	3	7	4	0
Jugador 2	2	1	3	5	2	1	
Jugador 3	1	2	2	1	4	5	
Jugador 4	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 5	3	1	4	4	2	2	
Jugador 6	3	2	3	2	1	1	
Jugador 7	3	3	1	1	2	2	

E = error; B = bloqueo; C = continuidad. La distinción que se establece con los signos de suma o resta tiene que ver con la situación de saque a favor o saque en contra.

Adaptado de Molina. II Seminario de tecnologías aplicadas al alto rendimiento deportivo. TADAR, 2007.

TABLA 6.16. Análisis de variables ofensivas y defensivas de todos los partidos disputados en la fase regular de la liga española femenina de baloncesto de máxima categoría en la temporada 2004-2005

<i>Acción</i>	<i>Media (DE)</i>
Posesiones	71,7 (6,3)
Puntos anotados	65,8 (11,2)
Puntos recibidos	65,8 (11,2)
Porcentaje de tiros libres	66,9 (12,9)
Rebotes defensivos	31,8 (6,8)
Rebotes ofensivos	12,7 (4,7)
Asistencias	13,0 (6,8)
Balones recuperados	12,5 (4,8)
Pérdidas de balón	20,8 (5,6)
Faltas cometidas	25,9 (5,6)

Adaptado de Gómez M y Lorenzo A. Kronos 2005;8:16-19.

Las conductas tecnicotácticas colectivas. Los movimientos y desplazamientos ofensivos y defensivos que, dentro del subsistema estructural preconizado por el equipo, buscan la coherencia de movimientos de los jugadores así como las acciones de compensación para ocupar el espacio de manera coherente con los objetivos que plantean: amplitud, profundidad, basculaciones, desdoblamientos, permutas, etc. (figura 6.48). Un primer tipo de análisis es el estudio de las acciones generales de juego, habitualmente mediante el análisis zonal. Los análisis zonales permiten conocer con exactitud el lugar del terreno de juego donde se realizan las acciones y que pueden ser de gran importancia en la interpretación del tipo de juego y el comportamiento táctico desarrollado por los equipos. Para ello, se registra un sistema de coordenadas que permite describir las acciones de ambos equipos en función de la lateralidad o amplitud del terreno de juego y de la profundidad del mismo, quedando el terreno de juego dividido en diferentes zonas (figura 6.49). De esta forma, podemos establecer comparaciones entre los equipos, ver en qué zonas recuperan más balones, si el comportamiento es diferente cuando actúan como locales o como visitantes, si se encuentran por encima o por debajo en la media de acciones que realizan al compararlos con sus oponentes, etc. (tabla 6.17). Otro tipo de análisis incluye el estudio de las acciones de estrategia (córner, *penalty-stroke*, penalti-córner, penalti, transformaciones, libre directo, libre indirecto, saque, saque de banda, golpe franco, patadas, etc.) (figura 6.50 y tabla 6.18).

TABLA 6.17. Análisis descriptivo en una temporada de fútbol de los balones recuperados por zonas por el FC Barcelona y el resto de los equipos en función de su actuación como local o visitante

Zonas	Equipo	N	Local	Visitante
Zona 4, 5	FC Barcelona	19	3,9 (1,8)	2,5 (1,6)
	Resto de equipos	361	3,6 (2,3)	2,7 (1,9)
Zona 3	FC Barcelona	19	8,9 (2,9)	7,5 (3,5)
	Resto de equipos	361	8,4 (3,6)	7,1 (3,4)
Zona 2	FC Barcelona	19	21,4 (4,1)	18,9 (6,2)
	Resto de equipos	361	19,5 (6,2)	18,1 (5,8)
Zona 1	FC Barcelona	19	13,0 (3,9)	15,3 (4,4)
	Resto de equipos	361	13,2 (4,5)	14,2 (4,3)

El FC Barcelona en las zonas 2, 3, 4 y 5 recupera más balones como local, y en la zona 1 (más próxima a la portería que defiende) como visitante. Cuando juega en casa, el promedio de recuperaciones en las zonas 2, 3, 4 y 5 es mayor que el del resto de los equipos, mientras que recupera menos balones en la zona 1.

Adaptado de Álvaro J. Tesis Doctoral. Universidad Europea de Madrid, 2005.

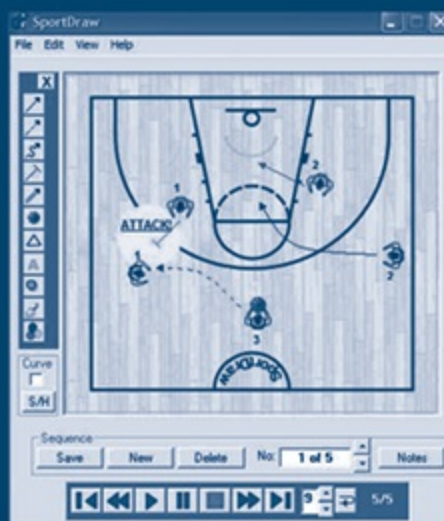


FIGURA 6.48. Desplazamientos ofensivos realizados por un jugador de baloncesto en ataque.

Original de los autores.



FIGURA 6.49. Mapa de zonas utilizado por GECASPORT.

Cortesía de GECASPORT.



FIGURA 6.50. Estadística acumulada tras 6 partidos de la relación golpes francos/goles convertidos por la selección española y sus adversarios en el **Campeonato de Europa de Balonmano de 2008**. En el plano ofensivo, desde la zona de lanzamiento de 9 m la selección española convirtió 35 de los 44 lanzamientos realizados (75,5% de eficacia), mientras que desde esa misma zona los equipos a los que se enfrentó convirtieron 38 de los 57 lanzamientos (66,6%).

Control y evaluación del rendimiento

Según Álvaro (2005), el marco de referencia preferencial en los deportes de equipo es el rendimiento en competición. La selección de este marco, aun con los problemas epistemológicos que derivan de ello, se basa en la importancia de los resultados en el ámbito del alto rendimiento deportivo. El rendimiento en competición como resultado final del proceso de entrenamiento es una variable dependiente compleja y difícil de observar. Algunos de los problemas que presentan **el control y la evaluación del rendimiento** en competición son (Álvaro, 2007):

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- El elevado número de jugadores implicados en el desarrollo del juego.
- La dependencia del rendimiento en competición de los deportes de equipo de la intervención del adversario y de la coordinación entre varios jugadores, por lo que los rendimientos individuales no son independientes.
- La interacción entre los dos equipos que se enfrentan, que es una variable dependiente de factores ajenos y en numerosos casos desconocidos al tratarse del equipo contrario.
- El análisis del rendimiento en competición como efecto último de un complejo sistema de factores puede que no nos aporte datos e información sobre las variables independientes y de mayor peso en los efectos producidos.

TABLA 6.18. Análisis descriptivo en una temporada de fútbol de los goles a balón parado del Real Madrid y el resto de los equipos en función de su actuación como local o visitante

	<i>Equipo</i>	<i>N</i>	<i>Local</i>	<i>Visitante</i>
Falta directa	Real Madrid	19	0,05 (0,23)	0,11 (0,46)
	Restantes equipos	361	0,07 (0,26)	0,07 (0,25)
Remate de falta	Real Madrid	19	0	0
	Restantes equipos	361	0,07 (0,26)	0,07 (0,25)
Remate de córner	Real Madrid	19	0,05 (0,23)	0,11 (0,32)
	Restantes equipos	361	0,07 (0,25)	0,05 (0,23)

Se observa cómo el R. Madrid consiguió más goles de falta directa y de remate de córner como visitante que como local. Además, el resto de sus oponentes, cuando jugaron como locales, consiguieron un mayor número de goles de falta directa, de remate de falta y de remate de córner que el R. Madrid

Adaptado de Álvaro J. Tesis Doctoral. Universidad Europea de Madrid, 2005.

- La evaluación de una desviación en el rendimiento no es un medio sensible, ya que las modificaciones de las cargas que se producen en la programación requieren un tiempo para manifestarse en la competición.
- Los estrechos márgenes que se producen en algunos resultados finales implican que la distancia que existe entre ganar y perder es muy pequeña (un gol, un tanto, una canasta, un punto).
- La influencia de variables determinantes que se escapan de las competencias del entrenador (el entorno), el peso que puede tener en un resultado la intervención de los árbitros y el azar propio de los juegos deportivos.
- El grado de evolución y la lógica interna de cada uno de los deportes de equipo.

Con el objetivo de profundizar en el conocimiento de la realidad de la competición en los deportes de equipo, de forma que a partir de él derivaran nuevos criterios y estructuras de entrenamiento que mejorasen el rendimiento de los equipos y sus jugadores en la competición de alto nivel, Álvaro *et al.*, (1996) propusieron un **modelo de análisis basado en el rendimiento en competición**. Este modelo parte del reconocimiento de la existencia de un conjunto integrado e interactivo de variables específicas que intervienen, condicionan y sesgan el desarrollo del juego y su dinámica en el transcurso de la competición.

La competición es un fenómeno que introduce una serie de factores específicos que condicionan el desarrollo y la evolución de la dinámica propia del juego. Este hecho nos permite explicar las diferencias, fácilmente constatables, que existen en los comportamientos y en los rendimientos de equipos y jugadores frente a las situaciones de juego y las de competición, especialmente las de mayor relevancia. La **identificación de los factores propios de la competición** es difícil debido a la propia complejidad del fenómeno. La propuesta que realizan Álvaro *et al.*, (1996) considera los siguientes factores:

- El análisis de la dinámica de la competición.
- La observación de las ventajas/desventajas obtenidas en el desarrollo del juego.
- La evolución de los resultados parciales.
- Las situaciones de equilibrio en el resultado.
- El tiempo de partido.
- Otras variables indirectas.

En mayor o menor grado, este conjunto de factores o variables condiciona cada una de las competiciones (partidos) en su globalidad y se manifiesta de forma variable e integrada a lo largo de todos y cada uno de los momentos de cada competición. El conjunto integrado de factores derivado de la competición que condicionan las conductas y el rendimiento de los jugadores constituye una auténtica dimensión que debe formar parte del modelo general de análisis de los deportes de equipo y, a su vez, introducirse en las variables que configuran y estructuran los contenidos de los entrenamientos con el fin de conocer mejor los deportes de equipo y mejorar la capacidad de rendimiento de los equipos y jugadores.

Ante la complejidad y la dificultad de analizar la competición en su

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

totalidad, como se ha especificado anteriormente, Álvaro *et al.*, (1996) proponen subdividir la competición en unidades más pequeñas que reúnan todos los componentes propios de la competición y que puedan tener relevancia para el rendimiento, de manera que el resultado final sea un sumatorio de los efectos de tales unidades (figura 6.51).

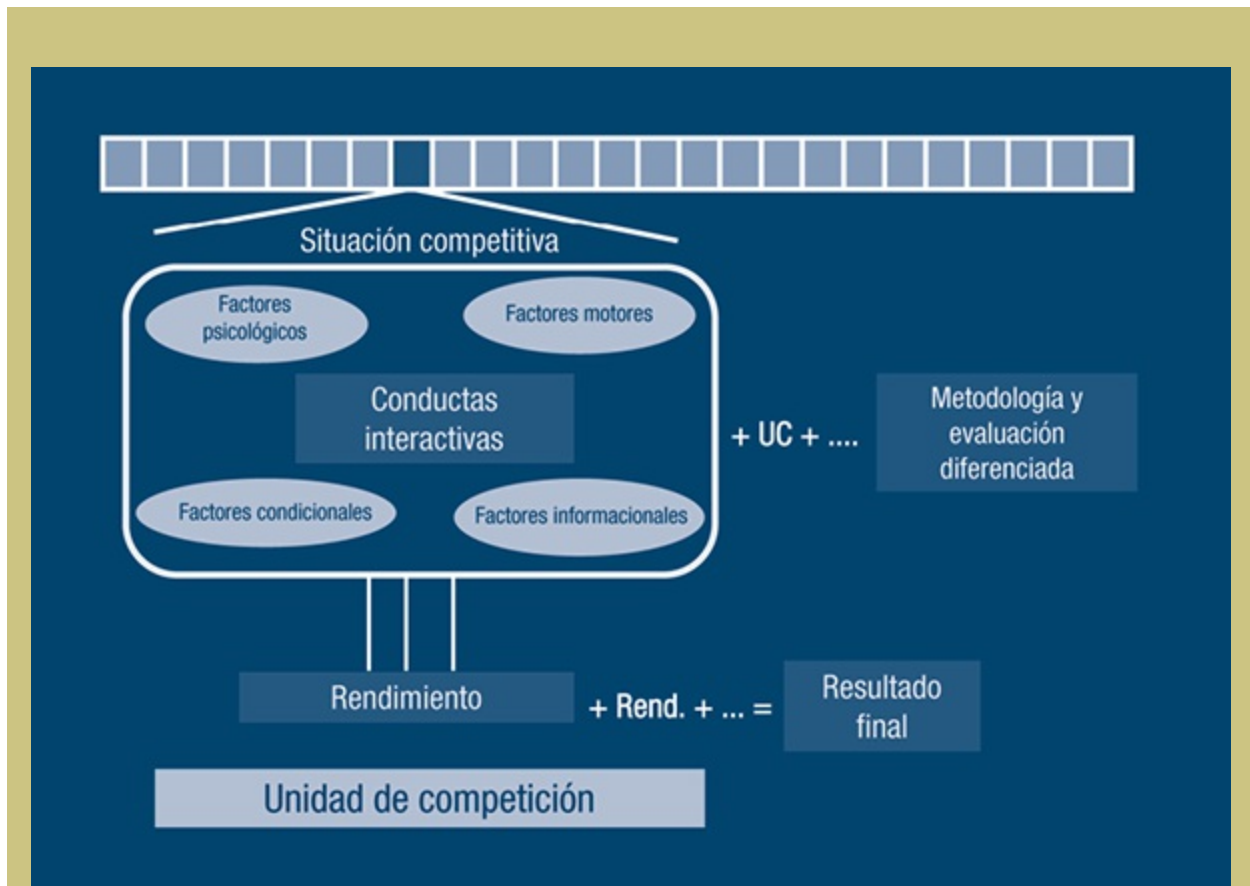


FIGURA 6.51. El rendimiento final como resultado del sumatorio de rendimiento de cada una de las unidades de competición. Obsérvese primero la división de la totalidad de la competición en unidades de competición. En cada unidad de competición se establecen conductas interactivas en las que influyen los diferentes factores que determinan el rendimiento de esa unidad. El rendimiento de la globalidad de la competición es el sumatorio del rendimiento de cada una de las unidades de competición. Este análisis permite establecer una metodología y una evaluación del entrenamiento diferenciada.

Adaptado de Álvaro J. Estructura, planificación y programación de los deportes de equipo. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1995.

De esta forma, en cada deporte se debe acotar un período de tiempo en el que se pueda observar las manifestaciones fundamentales del juego de forma

específica e integrada: comportamientos colectivos, conductuales y condicionales, así como sus repercusiones en el rendimiento. Para la mayor parte de los deportes de equipo, los límites y la amplitud de cada **unidad de competición** se pueden establecer entre dos posesiones consecutivas del balón. Si es así, en estos casos una unidad de competición abarcaría las fases de transición defensa-ataque y de ataque posicional mientras se está en posesión del balón, junto a la transición ataque-defensa y defensa posicional hasta la nueva posesión del balón. En algunos deportes que presentan una mayor dificultad en el control del balón, como es el fútbol, los límites de las unidades de competición pueden mantenerse en las dos posesiones de balón, entendiendo tales posesiones como auténticas alternativas en el control del balón. Es decir, cuando un equipo está en clara posesión del balón y ante un intento de pase a un compañero, si se observa una interceptación del balón por un contrario seguida de una pequeña sucesión de contactos alternos del balón que finalmente acaben en posesión del mismo equipo que estaba atacando, se debe considerar toda esta fase perteneciente a la misma unidad, puesto que la posesión real del balón no ha cambiado de equipo. En todo caso, podemos aceptar que el balón ha evolucionado en una fase de control indeterminada dentro de la unidad de competición.

El peso sobre el rendimiento de cada unidad es más variable. En deportes como el baloncesto, el balonmano y el voleibol, esta unidad tiene relevancia en el rendimiento, ya que el resultado de cada unidad puede oscilar entre el empate y el desequilibrio (+/- 1, 2 ó 3). En deportes como el hockey y el fútbol, en los que los tanteos son bajos, el rendimiento de cada unidad no se puede referenciar en el marcador, sino que se debe analizar en función de otros parámetros como las situaciones de finalización generadas (tiros, lanzamientos, proximidad) y la concordancia con los objetivos de juego en esa fase.

En consecuencia, el **rendimiento de cada una de las unidades de competición** es evaluable, entendido como el rendimiento global de la fase ofensiva y defensiva (Álvaro *et al.*, 1996). Por ejemplo, rendimiento positivo si hemos conseguido superar al contrario y el contrario no nos ha superado, rendimiento negativo si ha ocurrido lo contrario y rendimiento neutro si ambos ataques han superado o no las defensas. Los criterios de evaluación de cada una de las unidades de competición deben basarse en la medida de lo posible en aspectos tácticos y no en el resultado real, por ejemplo, encestar, por lo que la valoración del rendimiento en competición tal vez no coincida

con el resultado real del partido. Además, para cada unidad de competición se requiere una definición clara y concreta de las **causas que han determinado el rendimiento**. Sólo de esta forma es posible reconducir el proceso de entrenamiento deportivo en estas modalidades deportivas.

Aunque la suma del rendimiento de cada una de las unidades de competición constituye el rendimiento global de la competición, hay que considerar que cada una de las unidades de competición no son semejantes ni intercambiables, y están condicionadas a la situación concreta de la competición y la dinámica propia de la interacción de las conductas en el juego. Es decir, existirán unidades de poca duración (unos segundos) y otras de mayor duración, unidades de gran importancia en el rendimiento final y otras de mínima relevancia, etc. En consecuencia, la valoración de las unidades de competición debe incluir también el **análisis de la interferencia contextual**, diferenciando las unidades de competición de un partido en función de criterios como el equilibrio en el marcador o el tiempo para terminar el partido, o las unidades de competición de varios partidos en función de la trascendencia de éstos englobando la dimensión de la competición y la dimensión ambiental.

Las **unidades de competición**, tal como han sido definidas, son el medio fundamental de conocimiento y análisis de los comportamientos y de los rendimientos en la competición, y además configuran el núcleo **básico para el diseño y la planificación del entrenamiento**. Por su naturaleza y definición, las unidades de competición materializan la intervención integrada de las variables dependientes de las dimensiones juego y competición en las condiciones específicas de cada deporte. Por consiguiente, el análisis de los deportes de equipo, de acuerdo con este modelo e independientemente de la perspectiva desde la cual se realice, debe diseñarse a partir de la observación y el estudio de la realidad compleja de las unidades de competición.

Para Álvaro *et al.*, (1996), los diseños de investigación para el conocimiento de los deportes de equipo, tanto los que analizan los comportamientos colectivos, los individuales y los aspectos condicionales, como los que se dirigen al conocimiento de los rendimientos en competición, han de partir de la realidad integrada de cada deporte. Debido a ello, el abordaje desde las unidades de competición representa el procedimiento metodológico más específico y operativo.

El análisis de las unidades de competición aporta información mucho más

útil que el conocimiento exclusivo de los metros recorridos a distintas intensidades, número de pases, porcentaje de aciertos o tiempo de posesión del móvil. Este análisis permite, por ejemplo, identificar el porcentaje de unidades en las que el equipo ha sido superado en las distintas zonas de la defensa. Además, identificar las causas por las que hemos sido superados (sistema defensivo erróneo, errores técnicos y tácticos individuales, deficiente condición física, etc.) es un requisito imprescindible para tener criterios objetivos de mejora en el proceso de **reorientación del entrenamiento**. Por ejemplo, si se analiza el ataque de un jugador de banda de un equipo de voleibol, sus números pueden ser claros: de 10 remates logra 7 puntos directos, 3 continuidades en campo contrario y 5 en campo propio, y es bloqueado en 2 ocasiones. Esta información nos dice que el atacante está rindiendo a un 70%. Por tanto nada hay que objetar, pues el jugador ha alcanzado posiblemente su objetivo de rendimiento; en la charla del lunes será felicitado y a lo largo de la semana entrenará para reparar otros errores. Pero si analizamos por unidades de competición, es decir, si distinguimos entre los remates como finalización del complejo 1 (unidad que acaba con el ataque procedente de la recepción del saque), frente a los realizados como finalización del complejo 2 (unidad que acaba con el ataque procedente de la defensa del remate), o los realizados como finalización del complejo 4 (unidad de competición que acaba con el ataque procedente de un apoyo a un bloqueo contrario), la información será sin duda más precisa, ya que podremos saber en qué momento el jugador tiene mayor rendimiento. Supongamos que, de los 7 remates en que dicho jugador obtiene punto directo, seis son como finalización de la unidad de competición del complejo 1, mientras que las continuidades en campo contrario se producen como finalización del complejo 4; por último, los dos bloqueos se producen en ataque que son finalización del complejo 2. Con esta información, tal vez el jugador sea igualmente felicitado por su rendimiento global, pero también debe ser advertido y evidentemente entrenado para mejorar el rendimiento en los ataques como finalización de los complejos 2 y 4.

Por último, la contextualización de las unidades de competición en función de la importancia del partido, el equilibrio en el marcador y el tiempo para finalizar la competición nos permite aumentar más si cabe dicha información y comparar el rendimiento del equipo en situaciones de mayor o menor presión, y en este sentido, por ejemplo, establecer criterios objetivos para determinar qué jugadores deben afrontar las situaciones de mayor presión.

Perspectivas de futuro

En la actualidad, la alta profesionalización del deporte y su desarrollo han generado importantes inversiones y expectativas de negocio dentro de las cuales el desarrollo tecnológico nos ha permitido avanzar en el conocimiento exhaustivo del proceso de entrenamiento y de la competición. La **evolución de las tecnologías digitales** se presenta como la línea de desarrollo futura que permitirá gestionar una mayor cantidad de información a través de procesadores más potentes, el desarrollo de *software* más sencillo para introducir los datos, mejores sistemas de control de calidad y una mayor rapidez en el tratamiento de las imágenes y los datos. Aunque hay dudas sobre la fiabilidad de estos sistemas que aún se encuentran en proceso de desarrollo, la tecnología que permite el reconocimiento de la voz para introducir los datos y gestionar la información se muestra como el siguiente paso en este proceso que va más allá de donde pueda alcanzar nuestra imaginación.

No obstante, como señalan Zubillaga (2006) y Álvaro (2005), la utilización de la tecnología no ha provocado la estandarización de las observaciones, sino una mayor diversificación de éstas. La facilidad de manejo de grandes cantidades de información hace que se recopile un mayor volumen de datos, pero sin referencia a modelos de análisis que determinen su pertinencia, por lo que en numerosas ocasiones existe el peligro de tener sobreinformación que no resulta accesible ni operativa, y que además es rechazada por los entrenadores.

Debido a ello, es necesario, por un lado, realizar una **conceptualización correcta y específica del deporte de equipo a analizar**, que además permita establecer un proceso lógico de observación, registro y análisis de la acción de juego (Grosgeorge, 1992; Franks, 1988), y, por otro, **formar analistas** de los deportes de equipo que de la mano del entrenador puedan y sepan convertir el dato en información y seleccionar la más relevante para, de manera proactiva, trabajar con el entrenador: (i) analizando la información relevante sobre el proceso deportivo de manera rápida e inmediata, en tiempo real, paralelamente al momento en el que se está produciendo, para que la intervención del entrenador y el *feed-back* que éste pueda proporcionar se produzcan en el transcurso del partido, y (ii) con posterioridad a la competición y con carácter retroactivo, realizando análisis más detallados y exhaustivos sin que supongan una sobrecarga para el entrenador, quien,

perdido en un mapa de datos, que no de información, muestre rechazo hacia ellos.

Los sistemas nunca pueden ni deben sustituir a los entrenadores, pero sí ayudarlos a mejorar su conocimiento y su intervención en el complejo proceso del entrenamiento y la competición.

4.2. Niveles de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas

El objetivo de este apartado es establecer una **metodología diferenciada de entrenamiento motor e informacional** para las modalidades deportivas abiertas. Esta metodología, aunque basada en el análisis de los indicadores de rendimiento sugeridos en el modelo competitivo o contextualizado, sigue la estructura de los tres niveles de entrenamiento especificados en este manual: el nivel de entrenamiento facilitado, el nivel de entrenamiento específico y el nivel de entrenamiento dificultado. La concreción de los niveles de entrenamiento en las modalidades deportivas abiertas tiene que basarse en criterios claramente definidos. Por este motivo, se requiere inicialmente establecer los criterios que diferencian los distintos niveles de entrenamiento. Posteriormente, se analizan las principales directrices metodológicas para el desarrollo de los factores motores e informacionales en cada nivel de entrenamiento en función de los objetivos planteados.

Definición de los niveles de entrenamiento

La infinita variedad de tareas que son de aplicación para el desarrollo de los factores motores e informacionales en las modalidades deportivas abiertas dificulta el establecimiento de **criterios para diferenciar los distintos niveles de entrenamiento**. Álvaro (1995) estableció una propuesta útil y con un criterio claramente definido para diferenciar las tareas o medios de entrenamiento en los deportes de equipo: la existencia o no de oponente. Así, este criterio se considera un medio de entrenamiento específico o básico de las tareas que, respectivamente, impliquen la oposición o no de uno o varios oponentes. Este criterio de diferenciación de las tareas es especialmente útil para cuantificar el grado de aplicación de entrenamiento integrado o

contextualizado. Ciertamente, las tareas diseñadas sin oponente deben considerarse descontextualizadas de la dinámica de la competición, y su aplicación únicamente está justificada para el desarrollo concreto de un determinado factor de rendimiento específico o básico, por ejemplo, el trabajo con sobrecargas para desarrollar la coordinación intramuscular o un circuito con cambios de dirección para el desarrollo de la fuerza explosiva específica. Por el contrario, el criterio de oposición en cierto modo exige en mayor o menor grado la implicación de los procesos informacionales, motores y condicionales asociados al contexto de la modalidad deportiva.

Desde nuestra perspectiva, el criterio de oposición para el diseño de tareas en las modalidades deportivas abiertas es fundamental para establecer el grado de integración del entrenamiento, especialmente como indicador de la contextualización del trabajo condicional. Este criterio debe ser referente especialmente en aquellas modalidades deportivas en las que tradicionalmente el trabajo condicional y el trabajo motor e informacional es realizado por distintos profesionales. Sin embargo, el criterio de oposición en ocasiones es insuficiente para definir la filosofía de la metodología del entrenamiento propuesta en este manual debido a que no es un indicador directo y diferenciador de los distintos niveles de entrenamiento. En este sentido, por ejemplo, para una tarea sin oposición, se ha resaltado en el capítulo 4 que en un circuito diseñado para el desarrollo de la resistencia a la fuerza explosiva podemos trabajar los distintos niveles de entrenamiento modificando los componentes del entrenamiento. Igualmente, determinadas tareas sin oposición pueden plantearse para dificultar los factores motores e informacionales de algunas modalidades deportivas, por ejemplo, el incremento de la frecuencia y velocidad de la bola mediante un robot lanzador de multibolas en tenis y tenis de mesa. Además, la presencia de oposición no está directamente relacionada con un determinado nivel de entrenamiento, siendo la variación de numerosos parámetros lo que la determinará. Para algunas modalidades deportivas en las que no existe una interacción directa con el resto de competidores, pero que en cierto modo pueden considerarse modalidades abiertas, esquí alpino, rally, golf, vela, etc., lógicamente el criterio de oposición no puede ser indicador del nivel de entrenamiento motor e informacional.

Como criterio didáctico, el criterio de oposición establecerá el desarrollo del **nivel de entrenamiento específico** motor e informacional de una modalidad deportiva abierta únicamente cuando se contextualice la

globalidad de la competición, lo que implica similar reglamento, compañeros, rivales, duración de esfuerzo y competitividad. Consiguientemente, para las modalidades deportivas abiertas caracterizadas por una interacción directa con los rivales, el criterio de oposición es requisito para considerar el desarrollo del nivel de entrenamiento específico; pero además es necesario que se manifiesten el resto de las principales variables que determinan el contexto competitivo. Los **niveles de entrenamiento facilitado y dificultado** deben considerarse siempre que se establezcan tareas de trabajo que incidan en el desarrollo de estos factores, respectivamente, con menor o mayor complejidad que la requerida en la globalidad de la competición, englobando tanto las tareas que simulan el contexto de la competición como las tareas que inciden en aspectos motores e informacionales concretos. Básicamente, debe considerarse que siempre que el equipo técnico establece tareas de trabajo que modifican alguna de las variables que inciden en el contexto de la competición, su objetivo es facilitar o dificultar alguno de los factores que inciden en el rendimiento.

Objetivos y metodología del nivel de entrenamiento facilitado

Las tareas diseñadas para el desarrollo del **nivel de entrenamiento facilitado** en las modalidades deportivas abiertas se identifican con tres objetivos diferenciados:

Readaptación después de un período de desacondicionamiento

Un primer objetivo claramente definido que requiere un nivel facilitado de entrenamiento motor e informacional es la necesaria **readaptación a la motricidad específica del deporte** después de un período de desacondicionamiento previamente planificado, como es un período de vacaciones, o forzado, como es el caso de la incidencia de una lesión. Para este objetivo, los contenidos de las tareas de entrenamiento no se orientan hacia la adquisición de nuevas habilidades motrices e informacionales, sino a la **recuperación progresiva del nivel de entrenamiento específico** motor e informacional de que disponía el deportista antes del período de

desacondicionamiento. La medida en que se facilita el nivel de entrenamiento al inicio de este período es dependiente del grado de desadaptación. Independientemente, la programación de las tareas en este período de readaptación debe incidir en la introducción progresiva de las manifestaciones condicionales, motrices e informacionales de la modalidad deportiva.

Como ejemplo, para modalidades deportivas abiertas que requieren la manifestación de resistencia a la fuerza explosiva en una situación motriz caracterizada por continuos cambios de dirección, de intensidad, manejo de un móvil y/o implementos deportivos e interacción con compañeros y rivales, como sucede en los deportes de equipo y de raqueta, se puede establecer la **secuenciación temporal de las tareas de entrenamiento** que se expone en la tabla 6.19.

Una estructuración de tareas siguiendo la filosofía de la metodología del entrenamiento propuesta puede adaptarse para su aplicación en el período de readaptación de otras modalidades deportivas abiertas. La **duración de las fases** indicadas debe ser dependiente de las características de cada modalidad deportiva y especialmente del grado de desadaptación observado en los deportistas. La medición de **indicadores del rendimiento** motor, informacional y condicional en este período de readaptación es útil para establecer una comparación entre el rendimiento previo al período de desadaptación y el nivel de rendimiento que progresivamente se alcanza.

Mantenimiento o mínima pérdida del nivel de rendimiento específico

Otro objetivo del nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional es el **mantenimiento del nivel de rendimiento específico** alcanzado para estos factores de rendimiento, o en su caso que la disminución del nivel de rendimiento específico sea la mínima posible. El planteamiento de un nivel facilitado de entrenamiento motor e informacional asociado a este objetivo es aplicable en situaciones diferenciadas de la programación del entrenamiento de las modalidades deportivas abiertas.

En los períodos vacacionales . Estos períodos tienen como objetivo principal la recuperación física y psicológica del deportista después de un largo período de entrenamiento continuado. Este objetivo debe ser

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

simultaneado con la menor pérdida posible de los niveles de adaptación de los principales factores de rendimiento con el fin de adquirir en el nuevo período de entrenamiento los niveles óptimos en el menor tiempo posible. Las características generales del programa de entrenamiento durante estos períodos se describen en el apartado 2 del capítulo 8.

TABLA 6.19. Secuenciación temporal del nivel de entrenamiento facilitado con el objetivo de readaptar al deportista después de un período de desacondicionamiento. Ejemplo para deportes de equipo y de raqueta

1ª fase	– Carrera continua a intensidad constante – Ejercicios de pesas a intensidad relativa baja (30-50% 1RM) ejecutando la fase concéntrica a velocidad moderada
2ª fase	– Carrera continua incluyendo progresivamente un mayor número de cambios de ritmo de corta duración desde intensidad moderada a submáxima – Ejercicios de pesas a intensidad relativa media (50-70% 1RM) ejecutando la fase concéntrica a velocidad submáxima
3ª fase	– Tareas que incluyan desplazamientos con cambios de ritmo y de dirección ejecutados desde intensidad moderada a intensidad submáxima – Ejercicios de pesas a intensidad relativa media y alta (50-90% 1RM) ejecutando la fase concéntrica a velocidad máxima – Tareas individuales y colectivas que impliquen la ejecución desde intensidad moderada hasta intensidad submáxima de las principales habilidades motrices asociadas al manejo del móvil e implemento en situaciones sin oposición y con oposición semipasiva
4ª fase	– Tareas que incluyan desplazamientos con cambios de dirección ejecutados a intensidad máxima para el desarrollo de la fuerza explosiva específica – Tareas que incluyan desplazamientos con cambios de dirección ejecutados a intensidad máxima para el desarrollo de la resistencia a la fuerza explosiva con una relación trabajo/pausa inferior a la requerida en competición – Ejercicios de pesas a intensidad relativa media y baja (30-70% 1RM) ejecutando la fase concéntrica a velocidad máxima – Tareas individuales y colectivas que impliquen la ejecución a intensidad máxima de las principales habilidades motrices asociadas al manejo del móvil e implemento en situaciones sin oposición y con oposición activa – Simulación de la competición facilitando las principales variables de contexto (menor duración de esfuerzo, rivales de menor nivel de rendimiento, menor número de compañeros y rivales, reducción del espacio de competición, etc.)
5ª fase	– Tareas que incluyan desplazamientos con cambios de dirección ejecutados a intensidad máxima con la misma relación trabajo/pausa que la requerida en competición – Simulación de la competición introduciendo progresivamente la misma dificultad que en competición de todas las variables de contexto

Original de los autores.

En la temporada de competición . Los niveles de entrenamiento específico y dificultado son los que finalmente permiten obtener el mayor nivel de optimización del rendimiento y, en consecuencia, constituyen la base del entrenamiento en la temporada de competición. Sin embargo, tres factores

principales determinan la **necesidad de incluir tareas asociadas a un nivel de entrenamiento facilitado** en este período: (i) la imposibilidad de mantener el máximo nivel de rendimiento durante un largo período de tiempo; (ii) el alto nivel de exigencia de los niveles de entrenamiento específico y dificultado sugieren la necesidad de establecer tareas menos exigentes que permitan la recuperación fisiológica y psicológica del deportista, y (iii) un alto nivel de exigencia durante un período de tiempo prolongado incrementa el riesgo de lesión.

En este contexto, los contenidos de las tareas asociadas a un nivel de entrenamiento facilitado no están orientados hacia la adquisición de nuevas habilidades motrices e informacionales, sino al mantenimiento de las adquiridas mediante sesiones caracterizadas por una carga de trabajo relativamente baja que permita la recuperación del deportista. La aplicación temporal del nivel de entrenamiento facilitado en la temporada, el nivel de la carga y el grado de especificidad de las tareas son dependientes de numerosos **factores**, como el calendario de competición, la regulación de los competidores y las características de las sesiones de entrenamiento previas. Así, cuando el calendario de competición lo permita, la aplicación de un nivel de entrenamiento facilitado con este objetivo de trabajo puede abarcar la mayoría de las sesiones de un microciclo o semana de entrenamiento que suceden a un período prolongado de entrenamiento específico y dificultado. Esto se puede aplicar también para diferenciar el nivel de entrenamiento en las modalidades deportivas y los equipos que pueden regular el número de competiciones que realiza cada jugador. Así, un nivel de entrenamiento facilitado puede ser adecuado para los jugadores que no van a competir próximamente y que han sido sometidos a un entrenamiento previo prolongado de elevada exigencia, mientras que para los jugadores que tienen una competición próxima pueden ser más adecuados los niveles de entrenamiento específico y dificultado. Incluso para los deportistas que tienen una competición próxima, el nivel de entrenamiento facilitado es aplicable en algunas de las sesiones del microciclo (~ 1 semana) de entrenamiento para garantizar la supercompensación del deportista mediante la alternancia de sesiones de mayor y menor exigencia y especificidad. Éste podría ser el caso de las sesiones de entrenamiento posteriores a una competición y de las sesiones más próximas a la competición.

Los **contenidos específicos de las tareas** son muy variados en concordancia con la variedad de situaciones en las que se aplica un nivel de

entrenamiento facilitado para este objetivo de trabajo. Sirva como ejemplo de la variedad de tareas la siguiente relación de contenidos de trabajo: actividades deportivas ajenas a la modalidad deportiva, carrera continua con cambios de ritmo de intensidad moderada, circuitos o tareas asociados a la modalidad deportiva ejecutados a intensidad moderada, juegos con nivel de exigencia baja (rondos, fútbol-tenis, etc.) y elevada, simulación de la competición facilitando las principales variables de contexto (espacio reducido y menor número de participantes y rivales, menor duración, rivales de menor nivel de rendimiento, etc.). La elección de las tareas más adecuadas para cada momento sólo es posible conociendo la situación real de contexto. Sin embargo, de forma general, cuando éste sea el objetivo de trabajo durante un período de tiempo relativamente prolongado, por ejemplo un microciclo, puede sugerirse una combinación de tareas de menor y mayor exigencia y especificidad. En cambio, cuando éste sea el objetivo de trabajo de sesiones específicas de un microciclo, las tareas de menor exigencia y especificidad pueden ser recomendadas como contenido de trabajo de las sesiones posteriores a una competición, y las tareas de mayor exigencia y especificidad como contenido de trabajo de las sesiones más próximas a la competición.

Aprendizaje de habilidades motrices e informacionales y su adecuación a los indicadores de rendimiento

El tercer objetivo general que requiere una metodología asociada a un nivel facilitado de entrenamiento es el **aprendizaje de habilidades motrices e informacionales** que permitan optimizar el rendimiento en competición. La óptima manifestación de numerosas habilidades motrices e informacionales en la competición necesita un trabajo previo de aprendizaje en situaciones que faciliten en mayor o menor medida los principales indicadores de contexto. Garantizar respuestas motrices e informacionales adecuadas en **tareas estructuradas progresivamente con mayor nivel de dificultad** es probablemente la metodología de entrenamiento más adecuada para la optimización del rendimiento en modalidades deportivas abiertas. Resulta básico concluir que difícilmente una respuesta motriz e informacional va a ser la adecuada en el contexto de competición cuando la respuesta es inadecuada en un contexto facilitado. Sirvan de apoyo los siguientes ejemplos. Un ejemplo extremo, que en ocasiones es frecuente, es la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

imposibilidad de una respuesta adecuada debido a que los deportistas no han comprendido lo que el entrenador quiere que realicen en determinadas situaciones. También es difícil esperar una respuesta adecuada en situación de fatiga, de presión psicológica y ante rivales de elevado nivel de rendimiento cuando sea inadecuada sin estos condicionantes. No es de esperar tampoco una adecuada conducta respecto a los compañeros, rivales, y jueces en las situaciones de mayor presión si ésta no es adecuada en situaciones sin presión. Este proceso es aplicable también a los condicionantes de otras modalidades deportivas. Así, es difícil esperar una respuesta adecuada en la conducción con extrema lluvia cuando la respuesta sea inadecuada con poca lluvia, o superar un nivel determinado de dificultad en escalada deportiva si no se superan niveles inferiores.

Para la mayoría de las modalidades deportivas abiertas es posible establecer dos categorías en el nivel de entrenamiento facilitado cuyo objetivo es el aprendizaje de habilidades motrices e informacionales, asociándose a una metodología de trabajo diferenciada.

Aprendizaje de las habilidades requeridas en competición. El aprendizaje de las habilidades requeridas en competición únicamente debe ser objetivo prioritario de trabajo en los períodos **en los que no existen competiciones importantes**, por ejemplo, el período preparatorio en los deportes de equipo. Este período de trabajo debe ser relativamente largo con el fin de transferir los nuevos aprendizajes al contexto de competición. Un trabajo inadecuado en este período difícilmente puede ser solucionado en períodos caracterizados por sucesivas competiciones debido a que se dispone de poco tiempo para estabilizar el aprendizaje en el contexto competitivo. Es habitual en la mayoría de las modalidades deportivas abiertas que el objetivo de aprendizaje de las habilidades motrices e informacionales requeridas para un óptimo rendimiento en el contexto de competición sea simultáneo al objetivo de readaptación a la motricidad específica del deporte después de un período de desacondicionamiento previamente planificado.

El aprendizaje de las habilidades motrices e informacionales se basa más en las creencias del entrenador respecto a los requisitos que considera que optimizarán el rendimiento en mayor medida, que en indicadores de rendimiento en la competición. Esto es debido a que, como se ha indicado anteriormente, este objetivo de trabajo viene precedido habitualmente de un período vacacional, y en consecuencia no se dispone de indicadores de

rendimiento en competiciones próximas. Por otra parte, en ocasiones ni el cuerpo técnico es el mismo que en la temporada anterior, y es habitual en algunos deportes que haya cambios significativos en la composición del grupo deportivo. Independientemente de este contexto, las creencias del entrenador deberían adaptarse en la medida de lo posible a los indicadores de rendimiento colectivos e individuales de la temporada anterior.

Las **tareas propuestas** para adquirir las habilidades motrices e informacionales requeridas para un óptimo rendimiento en el contexto de competición están asociadas parcialmente a las indicadas para la readaptación motriz después de un período de desacondicionamiento. Como ejemplo se establece la estructura de las **fases** para los deportes de equipo (tabla 6.20). La óptima aplicación de las habilidades motrices e informacionales para el nivel de exigencia necesario en cada fase es requisito imprescindible para comenzar el trabajo de una fase de mayor exigencia.

Adecuación de las habilidades requeridas en competición en función de los indicadores de rendimiento. Adecuar las habilidades motrices e informacionales requeridas en el contexto de la competición en función de los indicadores del rendimiento propio y del rendimiento de los rivales, y/o en función de los cambios en el contexto de competición, es **determinante para reorientar el entrenamiento**. Se ha resaltado repetidamente en este manual la importancia de reorientar el proceso de entrenamiento de los factores de rendimiento condicionales en función de los datos obtenidos en los distintos procesos de evaluación de los deportistas. Este criterio de reorientación continuada del proceso de entrenamiento alcanza su máxima expresión para el desarrollo de los factores de rendimiento motores e informacionales en las modalidades deportivas abiertas. El qué entrenar es el requisito básico para establecer una metodología apropiada de entrenamiento. Según criterios fisiológicos y neuromusculares, ha sido relativamente fácil establecer qué entrenar para el desarrollo de la fuerza, resistencia y movilidad específica de las distintas modalidades deportivas. Igualmente, según los modelos biomecánicos específicos se definen con claridad los objetivos de entrenamiento motor de las modalidades deportivas cerradas. En las modalidades deportivas abiertas, caracterizadas por un contexto motor e informacional variable y dependiente de numerosos factores, una práctica repetitiva de ejercicios tecnicotácticos específicos sin tener una orientación definida del objetivo de trabajo parece no ser una metodología de

entrenamiento suficiente para una adecuada optimización del rendimiento motor e informacional. Para estas modalidades deportivas, la filosofía de la metodología de entrenamiento propuesta para el desarrollo de la fuerza y de la resistencia específica se ha basado prioritariamente en el análisis de la motricidad desarrollada en la competición, por ejemplo, el análisis de los repetidos esprines. En esta línea se ha querido resaltar en el presente capítulo que, para establecer la metodología de trabajo adecuada para el desarrollo de los factores de rendimiento motores e informacionales en las modalidades deportivas abiertas, es necesario conocer qué entrenar en función del **análisis de la competición** desde una perspectiva de rendimiento. La gran cantidad de información de la que, como hemos visto, es posible disponer actualmente respecto al rendimiento en competición de nuestros deportistas y de nuestros rivales, y las sucesivas competiciones que caracterizan el calendario de la mayoría de las modalidades deportivas abiertas, constituyen el mejor contexto para que el entrenador optimice el rendimiento motor e informacional de sus deportistas. A partir del análisis de los **indicadores de la competición**, se debe establecer las cargas de entrenamiento adecuadas en cada situación y tomar las decisiones para la próxima competición en un análisis cíclico de las fortalezas y debilidades en la competición, la intervención en el entrenamiento, el análisis de los efectos en la competición y la nueva intervención en el entrenamiento (figura 6.52).

TABLA 6.20. Secuenciación temporal del nivel de entrenamiento facilitado con el objetivo del aprendizaje de las habilidades motrices e informacionales requeridas en competición. Ejemplo para deportes de equipo

1ª fase	– Conocimiento teórico del sistema táctico colectivo básico a desarrollar en competición – Conocimiento teórico de los objetivos y funciones de cada deportista en el sistema táctico colectivo básico
2ª fase	– Aplicación práctica del sistema táctico colectivo básico mediante tareas que faciliten muy significativamente las principales variables de contexto de la competición (velocidad de ejecución lenta, sin oposición u oposición pasiva, fraccionamiento del grupo en defensas, centrocampistas y delanteros, o en acciones de ataque o de defensa) – Tareas asociadas al aprendizaje y optimización de habilidades motrices específicas del deporte que se consideren deficientes
3ª fase	– Aplicación práctica del sistema táctico colectivo básico mediante simulación de la competición facilitando las principales variables de contexto (rival de menor nivel de rendimiento, menor duración de esfuerzo) y centrando el interés únicamente en la ejecución óptima de aspectos concretos – Tareas asociadas al aprendizaje y optimización de habilidades motrices específicas del deporte que se consideren deficientes
4ª fase	– Aplicación práctica del sistema táctico colectivo básico mediante simulación de la competición facilitando las principales variables de contexto (rival de menor nivel de rendimiento, menor duración de esfuerzo) e incrementando progresivamente los aspectos concretos que deben ser ejecutados correctamente – Tareas asociadas al aprendizaje y optimización de habilidades motrices específicas del deporte que todavía se consideren deficientes e impidan la adecuada aplicación del sistema táctico
5ª fase	– Aplicación práctica del sistema táctico colectivo básico mediante simulación de la competición requiriéndose la óptima aplicación de todos los factores motrices e informacionales en situación facilitada únicamente por un rival de menor rendimiento
6ª fase	– Conocimiento teórico de sistemas tácticos de recurso y de situaciones especiales (menor número de jugadores, etc.) – Integración en el sistema táctico colectivo básico de las modificaciones requeridas en los sistemas tácticos de recurso y de situaciones especiales mediante simulación de la competición, requiriéndose la óptima aplicación de todos los factores motores e informacionales en situación facilitada únicamente por un rival de menor rendimiento
7ª fase	– Aplicación del sistema táctico colectivo básico, de recurso y de situaciones especiales ante rivales que progresivamente se aproximen al nivel de rendimiento de nuestro grupo deportivo

Original de los autores.

De acuerdo con Hughes *et al.*, (2001), se establece en este sentido la necesidad de disponer de analistas de la competición en el propio proceso de entrenamiento, que faciliten la interpretación de los datos de la competición, que aporten información adecuada y rápida a los entrenadores y, por último, que prevean la dinámica de los rendimientos futuros.

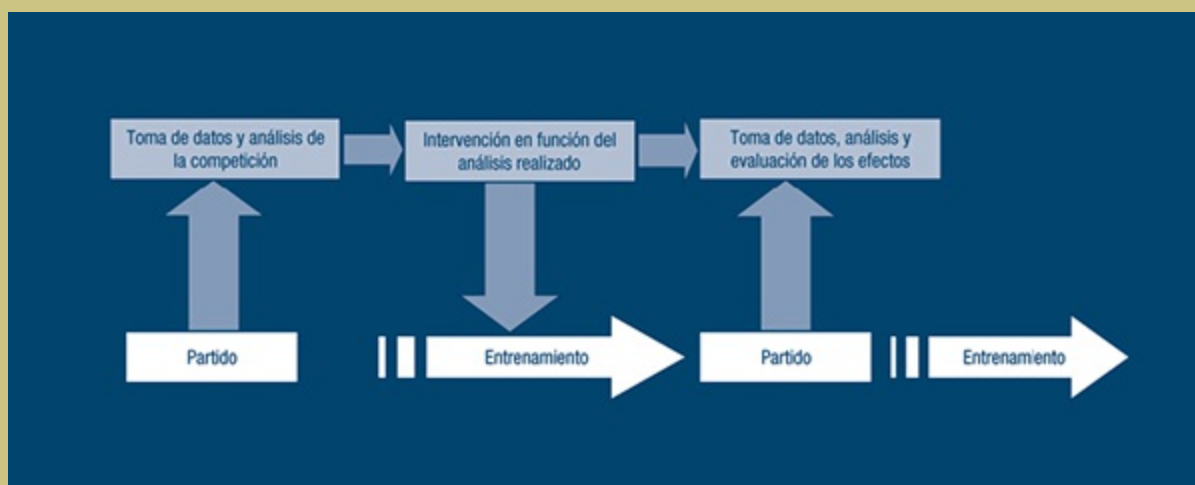


FIGURA 6.52. Proceso cíclico de observación, análisis e intervención según el modelo contextualizado. El análisis sucesivo de la competición estableciendo los indicadores adecuados permite reorientar continuamente el en-trenamiento.

Original de los autores.

En este contexto, el nivel de entrenamiento facilitado constituye el primer paso para la continua optimización del rendimiento en función de los indicadores obtenidos en cada competición. En las modalidades deportivas abiertas caracterizadas por un menor número de competiciones se requiere la programación de continuas simulaciones de la competición que nos permitan obtener indicadores de rendimiento. Para este objetivo, la primera tarea asociada al nivel de entrenamiento facilitado es el propio análisis de los indicadores de la competición por el cuerpo técnico. Este análisis debe valorar la **eficacia motriz e informacional del equipo y de cada jugador** para aportar **estrategias de mejora para la siguiente competición**. Estas estrategias deben contemplar además las características del rival de la siguiente competición. Es requisito básico de este nivel de entrenamiento que los deportistas comprendan estas estrategias mediante diferentes metodologías como la aportación de datos de la competición, visionado de vídeos y debates. La proximidad de la siguiente competición justifica que, en la medida de lo posible, las correcciones establecidas mediante este análisis deben aplicarse posteriormente realizando tareas que simulen la competición incluyendo las principales variables de contexto. Si con esta metodología de trabajo no se consiguen los objetivos propuestos, será necesario facilitar las variables de contexto para que las nuevas estrategias se apliquen

correctamente, incrementando progresivamente el nivel de dificultad hasta aproximarnos al contexto de la competición.

Objetivos y metodología de los niveles de entrenamiento específico y dificultado

Los **niveles de entrenamiento específico y dificultado** son necesarios, además de para **mantener o incrementar el estado de prestación**, para **transferir al contexto de competición las sucesivas estrategias de mejora** determinadas mediante el análisis de los indicadores de rendimiento en la competición. Adicionalmente, exigir respuestas motrices e informacionales adecuadas en un contexto progresivamente más dificultado permite **eleva el nivel de automatización** de estos factores de rendimiento y, en consecuencia, que el deportista en competición pueda orientar sus mecanismos de percepción, decisión y ejecución hacia tareas más complejas y variadas. Esto va a permitir, por ejemplo, que los deportistas más entrenados tengan menor dependencia de la visión para el control postural, pudiendo orientarla en mayor medida al tratamiento de la información correspondiente al juego (Pailland y Noé, 2006) y, en definitiva, que dispongan de un mayor rendimiento visual (Jafarzadehpur *et al.*, 2007), tengan una mejor economía de procesamiento de información (Baumeister *et al.*, 2008), muestren un menor nivel de fatiga, lo que se asocia además de a un incremento del rendimiento físico a una menor disminución de la función visual (Ando *et al.*, 2008) y de la calidad de ejecución de las acciones motrices (Gabbett, 2008; Royal *et al.*, 2006), e interpreten y manejen mejor la ansiedad previa a la competición (Mellalieu *et al.*, 2004).

Como el nivel de entrenamiento específico debe integrar todos los indicadores de contexto de la competición, únicamente en **la propia competición** se incide en este nivel de entrenamiento. Sin embargo, el planteamiento de distintas estrategias en el entrenamiento nos va a permitir aproximarnos al nivel de entrenamiento específico y especialmente mediante la **modificación de las variables de contexto** dificultar algunos de los factores motores e informacionales.

El nivel de entrenamiento dificultado motor e informacional puede trabajarse mediante métodos de entrenamiento que simulen la globalidad de la competición y mediante métodos específicos, habitualmente fraccionados, orientados a algún factor de rendimiento concreto.

Plantear situaciones que requieran, con mayor nivel de fatiga y de presión que en la competición, una adecuada respuesta motriz e informacional y dificultar la globalidad de los factores motores e informacionales son las directrices metodológicas de mayor aplicación para los **métodos de entrenamiento que simulan la globalidad de competición**. A este respecto son de aplicación la mayoría de las directrices establecidas en la tabla 4.48 para intensificar el estímulo de entrenamiento de resistencia en los esfuerzos intermitentes.

La reducción de pausas pasivas, el incremento de tiempo de competición de cada jugador, la reducción del número de jugadores y el competir contra rivales más descansados y/o de mayor nivel de rendimiento son estrategias que simultáneamente, además de incrementar el nivel de exigencia de la resistencia, determinan la aplicación de los factores motores e informacionales con **mayor nivel de fatiga** que en competición.

Parcializar la competición en sucesivas competiciones de corta duración, así como otros métodos de equilibrar el marcador o la puntuación, son estrategias adecuadas para incrementar, respecto a la competición, el número de situaciones en las que se requiere una adecuada respuesta motriz e informacional en situaciones de **elevado nivel de presión**. Específicamente, parece una estrategia adecuada obligar a resolver situaciones con elevado nivel de presión a aquellos deportistas en los que se observa en los indicadores de rendimiento en competición una respuesta motriz e informacional inadecuada. Por ejemplo, es aplicable que determinados jugadores sean los únicos que puedan realizar lanzamientos a portería o a canasta en determinadas secuencias de una competición simulada.

Para dificultar la globalidad de los factores motores e informacionales de la competición se puede utilizar numerosas estrategias. Desde nuestra perspectiva, el método más apropiado y con mayor nivel de transferencia es realizar competiciones simuladas contra oponentes de un mayor nivel de rendimiento. La **competición contra rivales de mayor nivel de rendimiento** incrementa simultáneamente la dificultad de todos los factores de los mecanismos de percepción, decisión y ejecución descritos en las tablas 6.5, 6.6 y 6.7. Por ejemplo, aumentan el número de estímulos que el deportista debe atender y la velocidad con la que se suceden los estímulos, se incrementa el número de decisiones y disminuye el tiempo de toma de decisión, y se amplía el número de respuestas motrices requeridas para resolver adecuadamente cada situación, así como el nivel de exigencia física.

La competición simulada con rivales de similar y mayor nivel de rendimiento es esencial para optimizar el rendimiento de los deportes de combate. Por este motivo, los deportistas que en su lugar de entrenamiento no tienen rivales equiparables necesitan concentraciones o estancias con otros grupos de deportistas de mayor nivel de rendimiento. En los deportes de equipo, en los que puede ser más difícil organizar durante la temporada de competición entrenamientos simulados con rivales de similar o mayor nivel de rendimiento, son necesarias estrategias con los propios componentes del equipo. Por ejemplo, se puede realizar una estructuración de equipos donde los atacantes titulares se enfrenten a la defensa titular, o donde el ataque o la defensa se ejecuten con menores efectivos que los habitualmente utilizados en la competición. También son aplicables **otras estrategias** más concretas para dificultar determinados factores asociados con los procesos motores e informacionales durante entrenamientos que simulan la competición, por ejemplo, reducción de espacios, limitación de las acciones motrices que se puede realizar, reducción del tiempo de posesión del móvil para la globalidad del equipo y para determinados jugadores, limitación del número de contactos con el móvil, acotación de las zonas de lanzamiento o de ataque, reducción de la luminosidad artificial o natural, reducción de la luminosidad de la vestimenta de los compañeros y del móvil, incremento del nivel de ruido, modificación de las condiciones de fricción del terreno de competición y del móvil, etc.

Aunque la simulación de la competición debe ser la metodología de entrenamiento prioritaria para la optimización de los factores motores e informacionales, también es aplicable la práctica de **métodos fraccionados orientados al desarrollo de factores concretos** motores e informacionales, ya que permiten dificultar en mayor medida determinados procesos de percepción, decisión y ejecución determinantes para el rendimiento de las modalidades deportivas abiertas. Básicamente, los métodos fraccionados se diseñan para aislar los contenidos de trabajo incidiendo en aspectos concretos motores e informacionales. Para este objetivo de trabajo se pueden realizar una gran **variedad de tareas**. Varios ejemplos pueden orientar al lector sobre el diseño y objetivo de éstas. Así, las tareas pueden diseñarse para incrementar la **velocidad y frecuencia del estímulo**, siendo de aplicación, por ejemplo, en deportes de equipo mediante multilanzamientos a portería y en deportes de raqueta utilizando un robot lanzador de multibolas. Al disminuir la velocidad del estímulo, estas tareas inciden simultáneamente en

la toma de decisión de una determinada respuesta motriz disponiendo de menor tiempo que en competición. El nivel de dificultad puede incrementarse progresivamente aumentando el **número de posibles trayectorias del móvil**. Las tareas también pueden diseñarse para aumentar el **nivel de precisión** requerido para una determinada acción motriz, siendo aplicables en la mayoría de las modalidades deportivas abiertas, por ejemplo, delimitando la zona de golpeo en los deportes de combate, la zona de la portería a la que debe orientarse un lanzamiento o golpeo, la zona de servicio en los deportes de raqueta y la zona a la que debe orientarse cualquier golpeo, lanzamiento o pase en los deportes de equipo y de raqueta. También son aplicables las tareas orientadas a la repetición sucesiva de una determinada acción motriz para estabilizar una respuesta adecuada en **situación de fatiga**, como son los circuitos que requieren continuas aceleraciones y desaceleraciones, o la repetición de golpes y lanzamientos específicos, especialmente en las acciones más relevantes para el rendimiento como lanzamientos de tiros libres, penaltis, faltas y el servicio en deportes de raqueta.

Síntesis

- El entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas debe considerar los distintos niveles de entrenamiento (facilitado, específico y dificultado), el contexto de la competición y los indicadores de rendimiento establecidos mediante el análisis de la competición.
- El nivel de entrenamiento específico motor e informacional se considera cuando se contextualiza la globalidad de la competición: similares reglamento, compañeros, rivales, duración del esfuerzo y competitividad. La propia competición es el medio de desarrollo de este nivel de entrenamiento.
- Los niveles de entrenamiento facilitado y dificultado deben considerarse cuando se establezcan tareas con menor o mayor complejidad que la requerida para la globalidad de la competición. Para ello se requiere facilitar o dificultar una o varias de las variables que contextualizan la competición.
- El nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional tiene como objetivo la recuperación progresiva del nivel específico que tenía el

deportista antes de un período de desacondicionamiento, el mantenimiento o mínima pérdida del nivel de entrenamiento específico durante el período de transición y durante la temporada, el aprendizaje de habilidades motrices e informacionales que permitan optimizar el rendimiento y la adecuación continua de estas habilidades al contexto de competición en función de los indicadores de rendimiento obtenidos del análisis de la competición de nuestros deportistas y/o equipo y de nuestros rivales.

- Los niveles de entrenamiento específico y dificultado motor e informacional son requeridos para transferir al contexto de competición las sucesivas estrategias de mejora determinadas mediante el análisis de los indicadores de rendimiento de la competición. Además, exigir respuestas motrices e informacionales adecuadas dificultando alguna de las variables de contexto permite elevar la automatización de las conductas para que el deportista pueda orientar sus mecanismos de percepción, decisión y ejecución hacia tareas más complejas y variadas.
- Para dificultar el nivel de entrenamiento motor e informacional es posible aplicar numerosas estrategias, la mayoría orientadas a incrementar el nivel de fatiga, las situaciones de presión y el nivel de los rivales, y/o a reducir tiempos y espacios. También son aplicables métodos fraccionados diseñados para aislar contenidos de trabajo incidiendo en aspectos motores e informacionales concretos.
- Para obtener indicadores de rendimiento que permitan cíclicamente reorientar el entrenamiento motor e informacional se requiere analizar sucesivamente la competición considerando las principales variables de contexto.
- Los principales indicadores obtenidos del análisis de la competición hacen referencia al control y evaluación del esfuerzo, al control y evaluación de las conductas tecnicotácticas individuales y colectivas, y al control y evaluación del rendimiento.
- Para facilitar el control y la evaluación del rendimiento se propone subdividir la competición en unidades de competición más pequeñas. Para la mayoría de los deportes de equipo, se considera una unidad de competición las acciones de ataque y defensa que suceden entre dos posesiones consecutivas de balón.
- Cada unidad de competición debe ser valorada positivamente si se ha conseguido superar al contrario y el contrario no nos ha superado,

negativamente si ha ocurrido lo contrario y equilibrada si ambos ataques han superado o no las defensas.

- Los criterios de evaluación del rendimiento de cada unidad de competición han de basarse en aspectos tácticos, especialmente en modalidades deportivas con pocas posibilidades de modificar el resultado en cada unidad, definiendo concretamente las causas que han determinado el rendimiento.
- La evaluación de las unidades de competición debe contextualizarse en función de criterios como el equilibrio en el marcador, las ventajas/inconvenientes, los resultados parciales, el tiempo de partido y la trascendencia de cada partido. De esta manera, además de disponer de información sobre los aspectos motores e informacionales positivos y negativos de nuestro equipo y de cada uno de los jugadores, se dispone de información sobre las posibles diferencias de rendimiento del equipo y de los jugadores en función de la trascendencia de las distintas unidades de competición.
- Para realizar de forma objetiva, válida y fiable el análisis de la competición, se requieren analistas cualificados que, mediante la utilización de distintas herramientas, conviertan los datos en información y seleccionen la más relevante para que el entrenador la utilice en la competición y para reorientar el entrenamiento motor e informacional para las próximas competiciones.

Cuestionario de asimilación

1. Define las principales diferencias que se derivan para el análisis y entrenamiento de los deportes de equipo entre los modelos mecanicista, globalista-estructuralista, integral y competitivo o contextualizado.
2. Indica qué justifica la aplicación de un modelo competitivo para el análisis y entrenamiento de las modalidades deportivas abiertas.
3. Explica las principales directrices metodológicas que hay que considerar en el análisis de la competición de los deportes de equipo.
4. Enumera los indicadores de rendimiento que hay que evaluar en los

deportes de equipo y en la mayoría de las modalidades deportivas abiertas.

- 5.** Define la unidad de competición, sus posibles valoraciones y los criterios sobre los que se debe basar su valoración.
- 6.** Indica qué aspectos, además del resultado, deben ser anotados en la valoración de una unidad de competición.
- 7.** Establece los criterios que deben utilizarse para diferenciar las distintas unidades de competición y cuáles son sus aplicaciones prácticas.
- 8.** Indica las soluciones que adoptarías si en el 70% de las unidades de competición superan a tu equipo por la misma zona del terreno de competición.
- 9.** Señala las soluciones que adoptarías si un deportista obtiene óptimos resultados en unidades de competición poco relevantes y malos resultados en unidades de competición relevantes.
- 10.** Indica los distintos niveles de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas.
- 11.** Establece los criterios que diferencian en las modalidades deportivas abiertas los distintos niveles de entrenamiento motor e informacional.
- 12.** Explica en qué momentos de la temporada aplicarías en las modalidades deportivas abiertas un nivel de entrenamiento facilitado con el objetivo de aprender nuevas habilidades motrices e informacionales.
- 13.** Establece en qué momentos de la temporada aplicarías en las modalidades deportivas abiertas un nivel de entrenamiento facilitado con el objetivo de reorientar las habilidades motrices e informacionales adquiridas a los indicadores de rendimiento de la competición.
- 14.** Indica qué objetivos persigue la aplicación de un nivel de entrenamiento dificultado motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas.
- 15.** Define algunas estrategias para dificultar el nivel de entrenamiento motor e informacional en las modalidades deportivas abiertas.
- 16.** Indica alguna de las herramientas habitualmente utilizadas en los deportes de equipo para el análisis de la competición.

Bibliografía

- Abbiss CR, Laursen PB. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med* 2008;38:239-52.
- Adrian MJ, Cooper JM. *Biomechanics of human movement*. Brown & Benchmark, 1995.
- Aguado X. *Eficacia y técnica deportiva. Análisis del movimiento humano*. INDE, 1993.
- Álvaro J. *Planificación en deportes de equipo*. Master de Alto Rendimiento. COE-UAM, 2007.
- Álvaro J. *El análisis de la competición como instrumento para la toma de decisiones de los entrenadores: Un estudio de la liga española de fútbol profesional de primera división 2003-2004*. Tesis Doctoral. Universidad Europea de Madrid, 2005.
- Álvaro J, Dorado A, González Badillo JJ et al. Modelo de análisis de los deportes colectivos basado en el rendimiento en competición. *Infocoes* 1996;1(0):2140.
- Álvaro J. *Estructura, planificación y programación de los deportes de equipo*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1995.
- Andel-Aziz YI, Karara HM. *Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry*. Proceedings ASP/VI Symp. On Close-Range photogrammetry, 1971.
- Ando S, Kokubu M, Kimura T et al. Effects of acute exercise on visual reaction time. *Int J Sports Med* 2008;29:994-8.
- Anguera MT, Blanco A, Losada JL et al. *La metodología observacional en el deporte: conceptos básicos*. Lecturas. Educación física y deportes, 2000;24.
- Anguera MT. *Complementariedad de análisis en los diseños lag-log*. V Congreso de Metodología en las Ciencias Humanas y Sociales. Sevilla, 1997.
- Anguera MT. Metodología observacional. En: Arnau J, Anguera MT, Gómez J. *Metodología observacional en ciencias del comportamiento*. Universidad de Murcia, 1990.
- Anguera MT. *Observación en la escuela*. Graó, 1988.
- Ariel G, Penny A, Probe J et al. *Biomechanical analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games*. www.arielnet.com/start/apas/studies/shotfinal.pdf
- Ariel G. *Long jump. Scientific aspects in the preparation of elite athletes*. <http://sportscience.org/wizard/manual/database/longjump.html>
- Bacconi A, Marella M. *Nuovo sistema di analisi della partita in tempo reale. Preparazione atletica, analisi e riabilitazione nel calcio*. 1º Convegno Nazionale A.I.P.A.C. Ediz. Nuova Prthmos. Castelo, 1995.
- Barbero JC, Castagna C. *Heart-rate and activity-speed of professional soccer players in match*. VIth World Congress on Science and Football. Antalya, 2007.
- Barelle C, Ruby A, Tavernier T. Experimental model of the aerodynamic drag coefficient in alpine skiing. *J Appl Biomech* 2004;20:167-76.
- Bartlett RM. *Sports Biomechanics, reducing injury and improving performance*. FN SPON, 1999.
- Battig WF. The flexibility of human memory. En: Cermack LS, Craik FJ. *Levels of processing and human memory*. Erlbaum, 1979.
- Baumeister J, Reinecke K, Liesen H et al. Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *Eur J Appl Physiol* 2008;104:625-31.
- Bayer C. *La enseñanza de los juegos deportivos colectivos*. Hispano Europea, 1986.
- Bawa P. Neural control of motor output: can training change it? *Exerc Sport Sci Rev* 2002;30:59-63.
- Bertalanffy L. *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, 1976.
- Bieuzen F, Vercruyssen F, Hausswirth C et al. Relationship between strength level and pedal rate. *Int J Sports Med* 2007;28:585-9.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Blandchar K, Cheska A. *Antropología del deporte*. Bellaterra, 1985.
- Blázquez D. *La iniciación a los deportes de equipo*. Martínez Roca, 1986.
- Bompa TO. *Theory and methology of training: the key to athletic performance*. Kendall/Hunt, 1990.
- Bortoli L, Spagolla G, Robazza C. Variability effects on retention of a motor skill in elementary school children. *Percept Mot Skills* 2001;93:51-63.
- Bortoli L, Robazza C, Durigon V et al. Effects of contextual interference on learning technical sports skills. *Percept Mot Skills* 1992;75:555-62.
- Buceta JM. Estrategias terapéuticas comportamentales y cognitivas de la práctica deportiva. *Revista Española de Terapia del Comportamiento* 1985;3(1):1-23.
- Burke RE. Motor units: anatomy, physiology and functional organization. En: Brooks VB. *Handbook of physiology. Section 1: the nervous system*. American Physiological Society, 1981.
- Calderón FJ, Legido-Arce JC. *Neurofisiología aplicada al deporte*. Tebar, 2002.
- Castelo J. Fútbol. *Modelo técnico-táctico do jogo*. Edições FMH, Universida de Técnica de Lisboa, 1994.
- Chervenjakov M, Dimitrov G, Kirkova T. Assessment of the playing effectiveness of soccer player. En: Reilly T, Lees A, Davis K et al. *Science and Football*. First World Congress of Science and Football. E. y F.N. Spon, 1988.
- Chu Y, Fleisig GS, Simpson KJ et al. Biomechanical comparison between elite female and male baseball pitchers. *J Appl Biomech* 2009;25:22-31.
- Church S, Hughes MD. Patterns of play in association football a computerised analysis. En: Reilly T, Lees A, Davis K et al. *Science and Football*. First World Congress of Science and Football. E. y F.N. Spon, 1988.
- Claudino RJ. *Observação em desporto-elaboração de um sistema de observação e sua aplicação pedagógica a jogos desportivos*. Monografía apresentada para obtenção do grau de mestre em desporto. UTL-FMH, 1993.
- Cratty BJ. *Motricidad y psiquismo en la educación y el deporte*. Miñón, 1983.
- Dal Monte A, Faina M. *Valutazione dell'atleta. Analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione*. UTET, 1999.
- Delaunay M. *Conduite tactique en sport collectif et theorie operatoire*. Tesis doctoral. Universite du Provence, 1976.
- Dillmann CJ, Nelson RC. The mechanical energy transformations of pole vaulting with a fibreglass pole. *J Biomechanics* 1968;1:175-83.
- Domínguez E, Valverde A. Nueva concepción y organización de los deportes colectivos. Mapa conceptual del fútbol. *RED* 1993;7(2):3-11.
- Donskoi D, Zatsiorski V. *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Raduga, 1988.
- Dorel S, Hautier CA, Rambaud O et al. Torque and power-velocity relationships in cycling: relevance to track sprint performance in world-class cyclists. *Int J Sports Med* 2005;26:739-46.
- Doucet C, Duprat E, Charlot D. Le memobser et les sports collectifs. *EPS* 1986;202;16-18.
- Dufour W. Computer assisted scouting in soccer. En: Reilly T, Clarys J, Sibbe A. *Science and Football II*. Second World Congress of Science and Football. E. y F.N. Spon, 1993.
- Dufour W, Verlinden M. *Project CASMAS – Computer Assisted Scouting Match Analysis System*. Vrije Univesiteit Brussel, 1993.
- Dufour W. *Los métodos de objetivación del comportamiento motor en la recogida de datos en fútbol*. I Congreso Mundial de Ciencias Biológicas aplicadas al Fútbol. Barcelona, 1982.
- Egger JD. Reflections on the evolution of performances in the shot put. *NSA* 1994;March:9-13.
- Ejem M. El valor real de los números. *Volley Tech* 1995;3:25-30.

- Elliott B. Biomechanics and tennis. *Br J Sports Med* 2006;40(5):392-6.
- Erdman WS. Quantification of games- preliminary kinematic investigations in soccer. En: Reilly T, Clarys J, Stibbe. *Science and Football II*. Second World Congress of Science and Football. E. and F.N. Spon, 1993.
- Fernández Ballesteros R. Técnicas de observación. En: Fernández Ballesteros R. *Psicodiagnóstico*. UNED, Madrid, 1987.
- Ferro A, Floría P. La aplicación de la biomecánica al entrenamiento deportivo mediante los análisis cualitativo y cuantitativo. Una propuesta para el lanzamiento de disco. *Rev Int Cienc Deporte* 2007;7(3):49-80.
- Fiedler M. *Voleibol moderno*. Stadium, 1982.
- Fine GA. *With the boys: Little League and preadolescent culture*. University of Chicago Press, 1987.
- Franks IM, Miller G. Training coaches to observe and remember. *J Sports Sci* 1991;9:285-97.
- Franks IM. Analysis of association football. *Soccer Journal* 1988;33:35-43.
- Franks IM, Godman D. Computer assisted technical analysis of sport. *Coaching Review* 1986; May/June:58-64.
- Franks IM, Miller G. Eyewitness testimony in sport. *J Sport Behav* 1986;9:38-45.
- Franks IM, Paterson G, Goodman D. The real time analysis of sport: an overview. *Can J Appl Sport Sci* 1986;11:55-7.
- Franks IM, Goodman D, Miller G. Analysis of performance: qualitative or quantitative. *Science Periodical on Research and Technology in Sport* 1983;39-46.
- French K, Rink J, Werner P. Effects of contextual interference on retention of three volleyball skills. *Percept Mot Skills* 1990;71:179-86.
- Fuchs AF. Control of movement. En: Patton HD, Fuchs AF, Hille B et al. *Textbook of physiology*. Saunders company WB, Harcourt Brace Jovanovich Inc, 1989.
- Gabbett TJ. Influence of fatigue on tackling technique in rugby league players. *J Strength Cond Res* 2008;22:625-32.
- Gandevia SC. Kinesthesia: roles for afferent signals and motor commands. En: Rowell LB, Shepherd JT. *Handbook of physiology*. Oxford University Press, 1996.
- García-Gómez C. Estadística Usa Sistem. *Set Voleibol* 2001;7:46-7.
- García-López J, Rodríguez-Marroyo JA, Juneau CE et al. Reference values and improvement of aerodynamic drag in professional cyclists. *J Sports Sci* 2008;26:277-86.
- García JM, Navarro M, Ruiz JA. *Bases teóricas del entrenamiento deportivo. Principios y aplicaciones*. Gymnos, 1996.
- Garganta J. Análisis del juego en el fútbol. El recorrido evolutivo de las concepciones, métodos e instrumentos. *RED* 2000;14(2):5-14.
- Garganta JM. *Modelação táctica do jogo de Futebol. Estudo da organização da fase ofensiva em equipas de alto rendimento*. Tesis Doctoral, Universidade do Porto 1997.
- Gatta G, Ditroilo M, Sisti D et al. The assessment of path linearity in swimming: a pilot study. *Int J Sports Med* 2008;29:959-64.
- Gentile AM. A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest* 1972;17(3):23.
- Godik MA, Popov AV. *La preparación del futbolista*. Paidotribo, 1993.
- Godoy JF. Biofeedback y deportes: potenciales líneas de actuación. *Motricidad* 1994;1:117-28
- Gómez M, Barriopedro MI, Pagola I. Evolución de la condición física de las jugadoras de fútbol del Atlético Féminas B durante la temporada. *Lecturas: Educación física y deportes* 2006;93.
- Gómez M, Barriopedro MI. Características fisiológicas de jugadoras españolas de fútbol femenino. *Kronos* 2005;7:26-32.

- Gómez M, Lorenzo A. Diferencias entre equipos ganadores y perdedores en el rendimiento de competición en baloncesto femenino. *Kronos* 2005;8:16-19.
- González-Millán C, Ureña A, Santos JA et al. El central, características de su juego en la competición de voleibol con la nueva normativa. *Infocoes* 2001;6(2):318.
- Gorospe G. *Observación y análisis en el tenis de individuales: aportaciones del análisis de las coordenadas polares*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco, 1998.
- Grande I. *Biomechanics for coaches: key kinematic variables for the execution of high difficulty value Yurchenko vaults*. 12th Annual Congress of the European Collage of Sport Science. Jyväskylä, 2007.
- Grande I. *Cinemática del modelo técnico individual del lanzamiento de peso*. Tesis Doctoral. Universidad de León, 2000.
- Greco PJ, Chagas MH, Vieira MVGC. Proposta científica para observação e valiação de jogos no handebol. *Kinesis* 1990;6:163-85.
- Grosgeorge B. *Analyse informatisée d'actions de jeu en sports collectifs; application au basket-ball*. Tesis Doctoral. Université de Poitiers, 1992.
- Grosser M, Neumaier A. *Técnicas de entrenamiento; teoría y práctica de los deportes*. Martínez Roca, 1986.
- Hansen EA, Waldeland H. Seated versus standing position for maximization of performance during intense uphill cycling. *J Sports Sci* 2008;26:977-84.
- Hay JG. *The Biomechanics of Sports Techniques* (4th edition). Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- Hay J, Reid JG. *The anatomical and mechanical bases of human motion*. Prentice Hall, 1988.
- Henneman E. Neural control of movement and posture. En: Mountcastle VB. *Medical physiology*. Mosby company, 1974.
- Hernández Mendo A. La metodología observacional en voleibol. *Lecturas: Educación Física y Deportes* 2000;25.
- Hernández Moreno J, López A, Gómez, A et al. *Temporalidad ludo-motriz, sincronía y diacronía interna y externa en baloncesto, balonmano y fútbol sala: estudio comparativo*. Grupo de Estudios e Investigación Praxeológica. Artículo sin publicar. Laboratorio de Análisis y Medidas. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2002.
- Hernández Moreno J, Jiménez F. Los contenidos deportivos en la educación física escolar desde la praxiología motriz. *Revista de Educación Física* 2000;78:512.
- Hernández Moreno J. *Baloncesto de la iniciación al entrenamiento*. Paidotribo, 1998.
- Hernández Moreno J. *Fundamentos del deporte. Análisis de las estructuras del juego deportivo*. Inde, 1994.
- Hernández Moreno J. Factores que determinan la estructura funcional de los deportes de equipo. *Apunts* 1988;81:45-58.
- Hiley MJ, Yeadon MR. Optimization of backward giant circle technique on the asymmetric bars. *J Appl Biomech* 2007;23:300-8.
- Hornilla TX. *Técnicas etnográficas de investigación en educación: Teoría de la Evolución*. Apuntes sin publicar del curso de doctorado: Teoría e Historia de la Educación. Universidad Pública del País Vasco 1995.
- Horak FB, Macpherson JM. Postural orientation and equilibrium. En: Rowell LB, Shepherd JT. *Handbook of physiology*. Oxford University Press, 1996.
- Hughes MD, Maloney C. A technical analysis of elite male soccer players by position and success. *J Sports Sci Med* 2007;Suppl.10:6-11.
- Hughes MD, Evans S, Wells J. Entablisishing normative profiles in performance analysis. *Int J Perform Anal Sport* 2001;4:97-139.
- Hughes MD. *The perturbation effect and goal scoring*. Third World Congress of Notational Analysis for Sport. Antalya, 1996.

- Hughes MD. Computerized notation analysis in field games. *Ergonomics* 1988;31:1585-92.
- Hunter I, Smith GA. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:653-61.
- Immink M, Wright D. Motor programming during practice conditions high and low in contextual interference. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2001;27:423-37.
- Izquierdo M, Echeverría JM. *Aplicaciones del análisis y evaluación de la técnica*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003a.
- Izquierdo M, Echeverría JM. *Bases generales para la evaluación funcional de la técnica deportiva*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003b.
- Jafarzadehpour E, Aazami N, Bolouri B. Comparison of saccadic eye movements and facility of ocular accommodation in female volleyball players and nonplayers. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:186-90.
- Jarus T, Wughalter E, Gianutsos J. Effects of contextual interference and conditions of movement task on acquisition, retention, and transfer of motor skills women. *Percept Mot Skills* 1997;84:179-93.
- Knapp B. *La habilidad en el deporte*. Miñón, 1963.
- Knowles JE, Brooke JD. *A movement analysis of player behavior in soccer match performance*. 8th Conference of the British Society of Sports Psychology. Salford, 1974.
- Konzag I. Actividad cognitiva y formación del jugador. *RED* 1992;6:35-43.
- Labrador JF, Buceta JM, Crespo M et al. Factores contextuales implicados en el lanzamiento de tiros libres en baloncesto. *Revista de psicología del deporte* 1995;7/8:87-99.
- Lasierra G, Lavega P, Burgués F. *Juegos y formas de iniciación a los deportes de equipo*. Paidotribo, 1993.
- Lebeda I. Los registros de juego y su empleo práctico en el voleibol. *Tréner* 1970;14(3):1-12.
- Leblanc H, Seifert L, Chollet D. Arm-leg coordination in recreational and competitive breaststroke swimmers. *J Sci Med Sport* 2009;12:352-6.
- Leblanc H, Seifert L, Tourny-Chollet C et al. Intra-cyclic distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breastroker's hip: a comparison between elite and nonelite swimmers at different race paces. *Int J Sports Med* 2007;28:140-7.
- Lindsay MR. Shot out of the dark. *Athletics weekly* 1993;July:23.
- Lloret M. Análisis praxiológico de la estructura funcional del waterpolo. *RED* 1994;8(2):11-6.
- Lorenzo A. *Las tecnologías de la información en los deportes colectivos: valoración del rendimiento deportivo*. 1º Congreso Internacional de Jogos Desportivos. Oporto, 2007.
- Lorenzo J. *Factores psicológicos que influyen en el ARD*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994a.
- Lorenzo J. *Reeducación y modificación de la técnica aprendida*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994b.
- Loy R. *Das SAT.1 datenbank/spielanalysystem*. Leistungssport, 1994;2:39-46.
- Luhtanen P. *A statistical evaluation of offensive actions. Soccer at World Cup level in Italy 1990*. En: Reilly T, Clarys J, Stibbe A. Science and football II. Proceedings of the Second World Congress of Science and football. E. y F.N. Spon. London, 1993.
- Mannino G, Robazza C. *Aprendizaje y memoria*. En: Tamorri S. Neurociencias y deporte. Paidotribo, 2004.
- Martínez M, Esparza E. Biomecánica del lanzamiento de peso. *Revista Española de Educación Física y Deportes* 1985;2:5-9.
- Masach J, Zubillaga A. *Planificación y control de una temporada de fútbol*. Gymnos, 1994.
- Massafret M, Serrés R. Procesos coordinativos, optimización de la técnica. Master Profesional en Alto Rendimiento. Deportes de Equipo. Centro de Estudios Deportes de Equipo 2004.
- Mayor L, Canton E. Direcciones y problemas de la motivación y emoción en la actividad física

- deportiva. *Revista de psicología del deporte* 1995;7-8:99-112.
- Mellalieu SD, Hanton S, O'Brien M. Intensity and direction of competitive anxiety as a function of sport type and experience. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14:326-34.
- Miller S. Modern tennis rackets, balls, and surfaces. *Br J Sports Med* 2006;40:401-5.
- Molina JJ. *La importancia de las herramientas ecológicas aplicadas al análisis del voleibol de alto rendimiento en función de variables contextuales*. II Seminario de tecnologías aplicadas al alto rendimiento deportivo. TADAR, 2007.
- Molina JJ. *Capacidad de salto en deportes de equipos: propuesta de un método de control y análisis específico*. Jornadas Internacionales sobre el Alto Rendimiento Deportivo: Perspectivas del Entrenamiento Deportivo para el Siglo XXI. CSD-COE. Madrid, 1997.
- Mora JA, García J, Toro S et al. *Problemática estratégica y toma de decisión en los deportes de equipo*. Estrategias cognitivas en deportistas profesionales. Universidad de Málaga, 1995.
- Morante JC. *La valoración de la eficacia técnica en el deporte*. Rendimiento Deportivo, 2005;9.
- Morante JC, Villa JG. *Valoración técnico-táctica y control del entrenamiento a través de programas informáticos*. Rendimiento Deportivo, 2002;1.
- Morante J. *El entrenamiento de los jugadores de voleyplaya*. VoleyPlaya.com 2000;1:66-7.
- Mornieux G, Stapelfeldt B, Gollhofer A, et al. Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *Int J Sports Med* 2008;29:817-22.
- Moutinho C. *La enseñanza del voleibol, estructura funcional del voleibol*. En: Graca A, Oliveira J. La enseñanza de los juegos deportivos. Paidotribo, 1997.
- Neumaier A, Ritzdorf W. El problema de la técnica individual. *RED* 1996;X(4):25-31.
- Nitsch JR, Neumaier A, Maress H et al. *Entrenamiento de la técnica*. Paidotribo, 2002.
- Nummela A, Keränen T, Mikkelsen LO. Factors related to top running speed and economy. *Int J Sports Med* 2007;28:655-61.
- Olaso S. El joc de pilota valenciana, hacia un enfoque de sistemas. *Apunts* 1993;32:82-94.
- Oña A, Martínez M, Moreno F et al. *Control y aprendizaje motor*. Síntesis, 1999.
- Orta A, Pino J, Moreno-Contreras MI. Propuesta de un método de entrenamiento universal para deportes de equipo, basándose en el análisis observacional de la competición. *Lecturas: Educación física y deportes* 2000;27.
- Ozolin NG. *Sistema contemporáneo de entrenamiento deportivo*. Científico-Técnica, 1988.
- Paillard T, Noé F. Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:345-8.
- Palao JM. *Incidencia de las rotaciones sobre el entrenamiento del ataque y el bloqueo en voleibol*. Tesis doctoral: Universidad de Granada, 2001.
- Parlebas. *Perspectivas para una educación física moderna*. Unisport, 1989.
- Parlebas P. *Elementos de sociología del deporte*. Unisport, 1988.
- Partridge D, Franks IM. Comparative analysis of technical performance: USA and West Germany in the 1990 World Cup Finals. *Soccer Journal* 1993:57-62.
- Pazo JH. Organización del movimiento. En: Cingolani HE, Housay AB. *Fisiología humana*. El Ateneo, 1989.
- Pew RW. *Human perceptual-motor performance*. Michigan University, 1974.
- Piéron M. *Pedagogía de la actividad física y el deporte*. Unisport, 1988.
- Pino J, Martínez de los Santos R, Moreno MI et al. *Automatic análisis of football games using GPS on real time*. VIth World Congress on Science and Football. Antalya, 2007.
- Pino J. *Análisis funcional del fútbol como deporte de equipo*. Wanceulen, 2002.
- Pino J, Vegas G, Moreno-Contreras MI. La formación conceptual del deportista en los deportes de equipo en la fase de iniciación. *Lecturas: Educación física y deportes* 2001;41.
- Portillo J, Rojo J, Navarro E et al. *Tecnologías de la información y comunicaciones aplicadas*

- a la mejora de la práctica deportiva. Consejo Social de la Universidad politécnica de Madrid, 2005.
- Potdevin F, Bril B, Sidney M *et al.* Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. *Int J Sports Med* 2006;27:193-8.
- Poulton EC. On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin* 1957;54:467-78.
- Reep C, Benjamín B. Skill and chance in association football. *J R Statist SOC A* 1968;131:581-5.
- Relly T, Thomas V. A motion analysis of work rate in different positional roles in professional football match play. *J Hum Mov Stud* 1976;2:87-97.
- Riera J. Análisis de la táctica deportiva. *Apunts* 1995;40:47-60.
- Rodríguez-Marroyo JA, García-Lopez J, Villa JG *et al.* Adaptation of pedaling rate of professional cyclist in mountain passes. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:515-22.
- Romero C. Hacia una concepción más integral del entrenamiento en el fútbol. *Lecturas: Educación física y deportes* 2000;19.
- Rossato M, Bini RR, Carpes FP *et al.* Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. *Int J Sports Med* 2008;29:746-52.
- Rowell LB, Shepherd JT. *Handbook of physiology Section 12 Exercise: regulation and integration of multiple systems*. Oxford University Press, 1996.
- Royal KA, Farrow D, Mujika I *et al.* The effects of fatigue on decision making and shooting skill performance in water polo players. *J Sports Sci* 2006;24:807-15.
- Ruiz LM, Gutiérrez M, Graupera JL *et al.* *Desarrollo del comportamiento motor y deporte*. Síntesis, 2001.
- Ruiz LM, Sánchez-Bañuelos F. *Rendimiento deportivo: Claves para la optimización de los aprendizajes*. Gymnos, 1997.
- Ruiz LM, Sánchez-Bañuelos F. *Optimización del aprendizaje de la técnica*. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994.
- Sabas G. La preparación psicológica del voleibolista: experiencia cubana. *Boletín técnico de entrenadores. Real Federación Española de Voleibol* 1996;2:1421.
- Sáenz-López P, Fuentes G. Diseño, selección y evaluación de las tareas motrices en educación física. *Lecturas: Educación física y deportes* 2000;21.
- Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20(5 Suppl):S135-45.
- Sale DG. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev* 1987;15:95-151.
- Sampedro J. Perspectiva de la Investigación en el deporte de alto rendimiento. *Rev Esp de Alto Rend* 1997;IV(3):4-7.
- Sánchez-Bañuelos F, Delgado MA. *Modelos de enseñanza para la optimización de los aprendizajes en el alto rendimiento*. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003.
- Sánchez-Bañuelos F. *Bases teóricas y funcionales del Alto Rendimiento Deportivo. Conceptos, requisitos y condicionantes*. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1993.
- Sánchez-Bañuelos F. *Bases para una didáctica de la educación física y el deporte*. Gymnos, 1992.
- Santos JA. *Estudio sobre las variaciones en el rendimiento en equipos de voleibol de elite a través de la información obtenida mediante un sistema informatizado*. Tesis doctoral. Universidad de Granada, 1992.
- Schade F, Brüggemann GP, Isolehto J *et al.* Pole vault at the World Championships in athletics Helsinki 2005. IAAF: www.iaafacademy.com.
- Seifert L, Chollet D. Modelling spatial-temporal and coordinative parameters in swimming. *J*

- Sci Med Sport* 2009;12:495-9.
- Seifert L, Vantorre J, Chollet D. Biomechanical analysis of the breaststroke start. *Int J Sports Med* 2007;28:970-6.
- Seirul-lo F. *Modelos de planificación y programación de la condición física en deportes de equipo*. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994.
- Seirul-lo F. *Capacidades cognitivas, coordinativas y condicionales: interconexiones*. Curso Postgrado Tercer Ciclo: Preparación Física en Deportes de Equipo. Universidad da Coruña, INEF de Galicia, 1993.
- Shea JB, Morgan RL. Contextual interference effects on acquisition, retention and transfer of a motor skill. *J Exp Psychol* 1979;5:87-179.
- Shepherd GM. *Neurobiology*. Oxford University Press, 1988.
- Smith P, Davies M. Applying contextual interference to the Pawlata roll. *J Sports Sci* 1995;13:455-62.
- Solar LV. *La aportación del movimiento olímpico a las pedagogías corporales a través del estudio hemerográfico*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco, 1997.
- Stapelfeldt B, Mornieux G, Oberheim R et al. Development and evaluation of a new bicycle instrument for measurements of pedal forces and power output in cycling. *Int J Sports Med* 2007;28:326-32.
- Stöggl T, Lindinger S, Müller E. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:362-72.
- Takei Y. The roche vault performed by elite gymnasts: somersaulting technique, deterministic model, and judges' scores. *J Appl Biomech* 2007;23:1-11.
- Taylor S, Hughes MD. Computerised notational analysis: a voice interactive system. *J Sports Sci* 1988;6:255.
- Tucker R, Noakes TD. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. *Br J Sports Med* 2009;43(6):e1.
- Tucker R, Lambert MI, Noakes TD. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *Int J Sports Physiol Perform* 2006;1:233-45.
- Ugrinowitsch H. Intereferência contextual: variação de programa e parâmetro na aquisição da habilidade motora saque do voleibol. *Revista Paulista de Educação Física* 1999;13:197-216.
- Unisport. *Diccionario de las Ciencias del Deporte*. Unisport, 1992.
- Ureña A. *Incidencias de la función ofensiva sobre el rendimiento de la recepción del saque en voleibol*. Tesis doctoral. Universidad de Granada, 1998.
- Velasco J. *Estrategias del entrenador para conseguir el máximo rendimiento de sus jugadores*. IX Congreso Internacional sobre Entrenamiento Deportivo. Junta de Castilla-León y Real Federación Española de Voleibol. Valladolid, 2002.
- Watson G, Swensen T. Effects of altering pedal cadence on cycling time-trial performance. *Int J Sports Med* 2006;27:296-300.
- Wegman E. Contextual interference effects on acquisition and retention of fundamental motor skills. *Percept Mot Skills* 1999;88:182-7.
- Wilson C, Simpson S, Hamill J. Movement coordination patterns in triple jump training drills. *J Sports Sci* 2009;27:277-82.
- Winkler W. Match analysis and improvement of performance in soccer with the aid of computer controlled dual video systems. *Science & Football* 1991;4:6-10.
- Zheng N, Barrentine SW, Fleisig GS et al. Swing kinematics for male and female pro golfers. *Int J Sports Med* 2008;29:965-70.
- Zubillaga A. *La actividad del jugador de fútbol en alta competición: análisis de variabilidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, 2006.

capítulo 7

Optimización psicológica

En todas las modalidades de la práctica deportiva, variables psicológicas de carácter individual (p. ej., motivación, ansiedad, confianza) y grupal (p. ej., cohesión, estilo de liderazgo) estarán implicadas en el aprendizaje, el desarrollo, el rendimiento y los resultados obtenidos. Cuando estas variables psicológicas se consideran en el proceso de preparación del deportista con el fin de optimizar su influencia, podemos hablar de entrenamiento psicológico. Es objetivo del capítulo 7 que el lector conozca los procedimientos de evaluación y de intervención que permiten optimizar el rendimiento psicológico. En el apartado 1, *Evaluación psicológica en el ámbito del deporte*, presentamos la importancia del proceso de evaluación conductual para recopilar la información necesaria que permita plantear adecuadas estrategias de intervención psicológica, y se analizan las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos de obtención de información. En el apartado 2, *Técnicas y estrategias de entrenamiento psicológico para la mejora del rendimiento*, se describe un conjunto de técnicas psicológicas que se han mostrado útiles en intervenciones psicológicas en el ámbito del deporte dirigidas a la mejora del rendimiento deportivo, la prevención y recuperación de lesiones, etc. Finalmente, el apartado 3, *Estrés del entrenador: breve reflexión*, persigue que el lector, como entrenador o posible entrenador, sea consciente de que las funciones de los entrenadores están asociadas a numerosas situaciones de estrés que es necesario controlar mediante estrategias psicológicas que permitan mejorar su calidad de vida y facilitar el proceso de entrenamiento.

1

Evaluación psicológica en el ámbito del deporte

Fernando Gimeno Marco

Quando concluyas este apartado podrás:

- Comprender la importancia del análisis funcional de la conducta de los deportistas para establecer estrategias de entrenamiento psicológico.
- Conocer los métodos directos e indirectos de evaluación conductual y su aplicabilidad.

Índice:

1.1. Métodos directos de evaluación conductual

Autoobservación

Observación

Registros psicofisiológicos

1.2. Métodos indirectos de evaluación conductual

Entrevista

Autoinformes

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Evaluación psicológica y evaluación conductual son denominaciones que consideraremos sinónimas y utilizaremos indistintamente en este apartado. Ambas se refieren al proceso que tiene como objetivo recopilar información de la persona o grupo de personas objeto de evaluación o de una posible intervención (p. ej., asesoramiento, entrenamiento de habilidades conductuales, etc.). **La evaluación psicológica** es el estudio científico del comportamiento y como tal debe llevarse a cabo mediante un procedimiento reglado, con fases establecidas coincidentes con las del método científico-positivo (Fernández-Ballesteros, 1992). El **análisis funcional de la conducta** (figura 7.1) es el método que nos permite valorar, por ejemplo, en el caso de un deportista:

- La conducta en las situaciones características del entrenamiento y de la competición, definiendo dicha conducta mediante las manifestaciones de carácter cognitivo (p. ej., representación de imágenes, mensaje verbal externo, diálogo interno, estrategias de pensamiento, atribuciones, expectativas, etc.), fisiológico (p. ej., actividades de los músculos y las glándulas inervadas por el sistema nervioso autónomo, respuestas del sistema nervioso central, sistemas endocrino y somático) y motor (p. ej., actividades del músculo estriado como correr, saltar, lanzar, expresiones gestuales, etc.).
- La incidencia de situaciones ambientales o personales significativas (p. ej., características del entrenamiento y de la competición, equipamiento, material e instalaciones, expectativas de rendimiento, etc.).
- Las consecuencias positivas o negativas de la conducta (p. ej., la conducta verbal y no verbal de otras personas como compañeros, entrenador y padres, y las propias manifestaciones de ansiedad del deportista).
- Las características psicológicas de carácter estable (p. ej., creencias, estilo de afrontamiento, habilidades sociales, historia de aprendizaje, etc.).

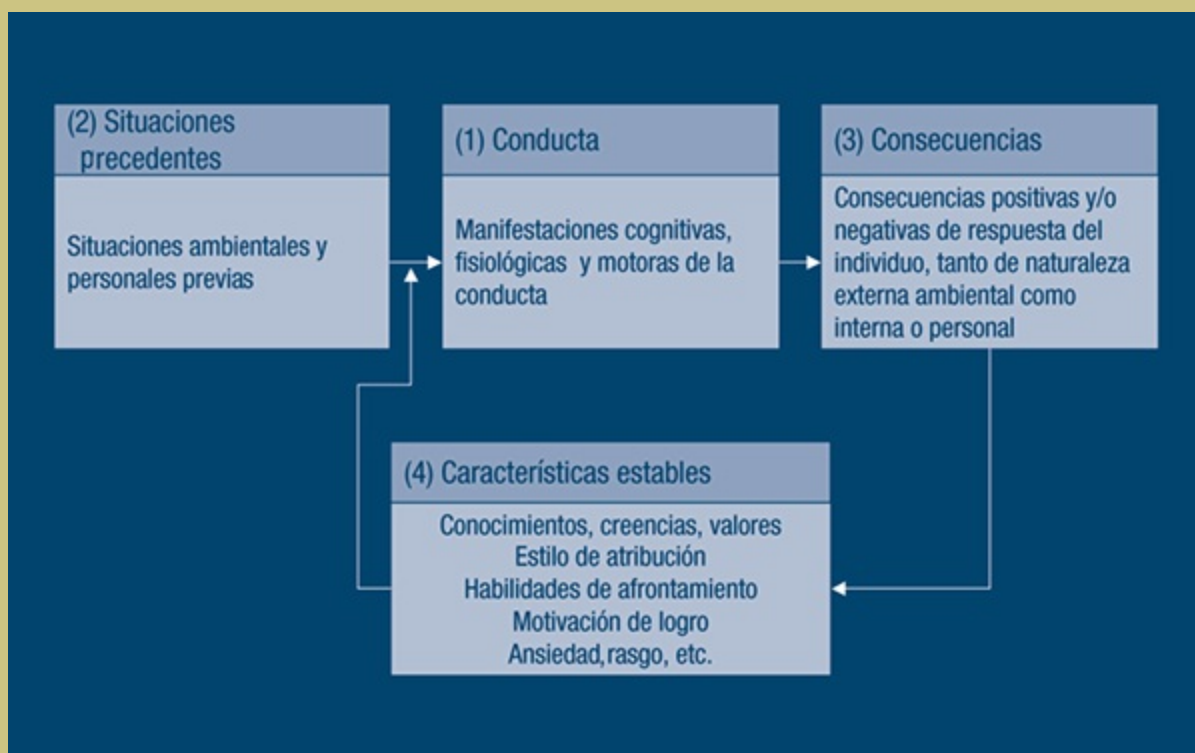


FIGURA 7.1. Esquemas y contenidos del análisis funcional de la conducta.

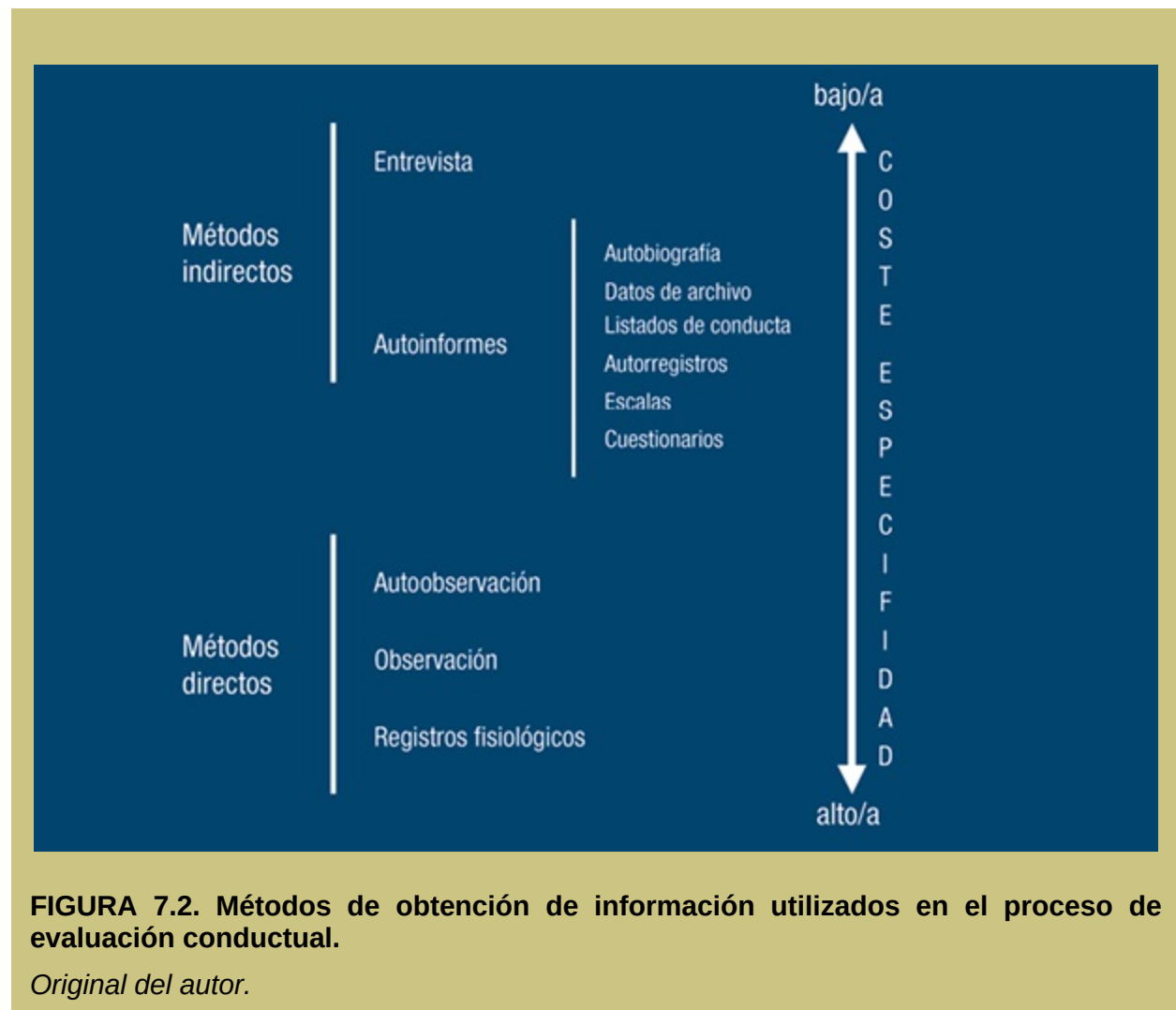
Original del autor.

El método del análisis funcional de la conducta aporta un modelo y una sistemática de análisis desde una aproximación científica no sólo en la clínica, sino en cualquier ámbito aplicado en seres humanos (Segura *et al.*, 1995). Por ello, en el ámbito del deporte es importante que psicólogos y otros profesionales con adecuada formación metodológica y científica utilicen este método de evaluación conductual de manera conjunta para que, aportando la información que por su propia competencia profesional y por las circunstancias particulares de relación con el deportista puedan obtener, comprendan mejor el cómo y el porqué del funcionamiento psicológico de un deportista.

En el proceso de **evaluación conductual** cabe utilizar diferentes **métodos para recopilar la información** necesaria, debiendo tener en cuenta para su elección los tres **criterios** siguientes: (i) si la conducta puede ser observada y registrada inmediatamente después de ocurrir (métodos directos) o si está sujeta a un mayor grado de inferencia (métodos indirectos); (ii) el coste que supone la utilización de cada método de evaluación, y (iii) el nivel de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

especificidad y rigor de cada método a la hora de registrar y medir la conducta en cuestión. En la figura 7.2 se presenta un esquema en el que aparecen los diferentes métodos de obtención de información utilizados en el proceso de evaluación conductual en relación con los tres criterios propuestos anteriormente. En este apartado analizamos las características, limitaciones y aplicabilidad de estos métodos para evaluar la conducta del deportista.



1.1. Métodos directos de evaluación conductual

Los **métodos directos de evaluación conductual** son aquellos que nos permiten obtener de manera objetiva la información de alguno de los niveles de respuesta: los registros fisiológicos de las respuestas fisiológicas del organismo (p. ej., frecuencia cardíaca, temperatura corporal, conductancia

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

eléctrica de la piel, etc.), la observación de la respuesta motriz (p. ej., movimientos, gestos) y la autoobservación de la respuesta o funcionamiento cognitivos (p. ej., pensamientos que una persona maneja o experimenta en un momento determinado).

Autoobservación

La **autoobservación** es un método que consiste en la **observación de la conducta por la propia persona** (p. ej., un deportista). Es decir, un deportista puede ser entrenado para que preste atención y refleje posteriormente, por ejemplo, en un autorregistro, lo que piensa, lo que siente y lo que hace en una situación determinada; las características que tiene una situación o momento en los que tiene lugar una respuesta específica, y las consecuencias asociadas a dicha respuesta. La autoobservación tiene diversas **aplicaciones** y está especialmente indicada para la evaluación de:

- Conductas íntimas y privadas (p. ej., interacciones con personas de especial significación para el deportista).
- Conductas poco evidentes para observadores externos (p. ej., sentimientos o reacciones psicosomáticas).
- Conductas encubiertas (p. ej., imaginación, diálogo interno, pensamientos).
- Conductas desencadenadas por respuestas internas (p. ej., comer, vomitar).

Este método de evaluación es especialmente interesante para contrastar la información sobre el deportista aportada por el entrenador, por medio de cuestionarios o en el contexto de una entrevista. Pero al mismo tiempo, junto con este objetivo específico de obtención de información, la autoobservación puede tener un interesante efecto de reactividad cuando se utiliza este método con el objetivo de modificar la conducta del deportista en la dirección adecuada. Por ejemplo, en ocasiones es importante para la evaluación psicológica conocer de forma más precisa con qué frecuencia y en qué momento preocupa a un deportista en la semana previa a la competición su actuación en ésta. El simple hecho de autoobservar y registrar esta conducta podría ayudar a este deportista a cambiar una pauta de conducta por otra que le permita afrontar de una manera más eficaz estas situaciones.

Este método de evaluación está especialmente indicado en el proceso de evaluación continua del deportista en relación con cada una de las

competiciones en las que ha participado. En la estructura del diario de competiciones o de entrenamientos que muchos deportistas están acostumbrados a cumplimentar se puede incorporar nuevos apartados en los que el deportista aporte no sólo información técnica, sino también referente al estilo de afrontamiento antes, durante y después de la competición.

Observación

La **observación** es un método directo de recogida de información, centrado en las **conductas externas**, que permite recoger esa información en el medio natural del deportista. El punto inicial de la observación es la definición de la conducta o conductas a observar. Esta definición podrá estar motivada, por ejemplo, por el interés de ampliar la información del análisis funcional elaborado en una fase inicial de la evaluación mediante la utilización de entrevistas o cuestionarios. La **identificación y definición de las conductas a observar** dependerán de sus características intrínsecas y estarán en función de:

- El tipo de categorías de respuestas utilizadas al definir la conducta: moleculares (cuando la conducta a observar constituya una respuesta específica o concreta como gritar, lanzar un objeto, dirigir la mirada a un punto determinado) y molares (cuando la conducta se refiera a unidades más amplias de conducta, por ejemplo, conducta asertiva y conducta violenta). Unas u otras dependerán de la finalidad de la observación.
- El tipo de definición: topográfica (referida a las características físicas, los movimientos que implica la respuesta, el modo en que se ejecuta, por ejemplo, en el caso de un tenista ponerse justo detrás de la línea de fondo y comprobar con la vista la empuñadura) y funcionales (definidas por sus efectos o consecuencias, por ejemplo, con posesión de balón, pasar a un compañero al segundo toque).

Además de la conducta o conductas objeto de la observación, y considerando que este método de evaluación debe contribuir al análisis funcional de la conducta del deportista, será preciso tener en cuenta:

- Los **estímulos o situaciones antecedentes** que están presentes cuando aparece la conducta y que guardan una relación funcional con ella, es decir, que tienen capacidad para provocar dicha respuesta, como sería el

caso de un estímulo condicionado en el marco del aprendizaje por condicionamiento clásico; o que su presencia aumenta o disminuye la probabilidad de que ocurra la conducta, como es el caso de un estímulo discriminativo en el marco del aprendizaje por condicionamiento operante.

- Los **estímulos consecuentes** que siguen a la conducta y que están asociados a un aumento o disminución de ésta, como es el caso de refuerzos y castigos en el marco del condicionamiento operante.

Considerando la importancia que la información sobre los antecedentes y consecuentes tiene para el análisis funcional de la conducta, el registro de secuencias es de una gran relevancia al utilizar la observación como método de evaluación.

Registros psicofisiológicos

Los **registros psicofisiológicos** pueden clasificarse en función del **sistema biológico** que produce la respuesta: respuestas del sistema somático (p. ej., respuestas electromiográficas, movimientos oculares, respiración), respuestas del sistema nervioso autónomo (p. ej., frecuencia cardíaca, temperatura corporal, respuesta electrotérmica, respuesta pupilográfica, respuesta gastrointestinal), respuestas del sistema nervioso central (p. ej., respuestas electroencefalográficas), respuestas del sistema endocrino (p. ej., secreción de catecolaminas).

En el ámbito del deporte la evaluación de respuestas psicofisiológicas tiene diversas **aplicaciones**, especialmente como indicador de diferentes variables, por ejemplo el esfuerzo (frecuencia cardíaca, presión arterial y frecuencia respiratoria), el nivel óptimo de activación del rendimiento máximo (frecuencia cardíaca, respiración, ondas alfa, temperatura, nivel de lactato), la recuperación después del ejercicio (frecuencia cardíaca) y la prevención de lesiones (respuestas electromiográficas de los músculos al final del calentamiento). La utilización de respuestas electromiográficas también ha contribuido a la evaluación de la rehabilitación de lesiones y en los análisis biomecánicos para la corrección de movimientos.

1.2. Métodos indirectos de evaluación conductual

Los **métodos indirectos de evaluación conductual** son aquellos que nos

permiten obtener información del comportamiento de una persona, pero esta información está sujeta a sesgos o distorsiones. Éste es el caso de la entrevista o los instrumentos de autoinforme (registros, encuestas, escalas, cuestionarios) mediante los que una persona puede aportar información de los tres niveles de respuesta de su conducta (cognitivo, fisiológico y motor). Sin embargo, tal información estará sujeta a variables como la capacidad y habilidad de expresión, el interés por dar una buena imagen (deseabilidad social), el tiempo transcurrido (memoria o recuerdo), etc.

Entrevista

La **entrevista** es, sin duda, el método de evaluación **indispensable en todos los procesos de evaluación psicológica** siempre que sea posible su utilización. Junto al objetivo de obtener la información necesaria para la realización del análisis funcional de la conducta del deportista, objetivo compartido con los métodos de evaluación descritos anteriormente, con la entrevista se persiguen también los siguientes **objetivos**:

- Recopilar una información más amplia (p. ej., datos biográficos).
- Educar al deportista.
- Consensuar con el deportista y su entrenador la información recogida en el proceso de evaluación inicial. Únicamente en el caso de un trastorno de conducta, y por expreso deseo del deportista o de la familia de éste, tratándose de un menor, se prescindiría en el proceso de evaluación de la relación con el entrenador. En este caso se trataría exclusivamente de un caso clínico y no de un caso deportivo de mejora del rendimiento.
- Proponer y consensuar con el deportista y su entrenador las alternativas de intervención o entrenamiento psicológico más adecuadas.
- Motivar al deportista y a su entrenador con vistas a su implicación en los procesos de intervención o entrenamiento y de evaluación continua durante éste.

El análisis funcional realizado con el apoyo de una entrevista es de **carácter idiográfico** (lo que supone identificar las relaciones funcionales de ciertas conductas de un individuo determinado) más que nomotético (que pretende identificar las relaciones funcionales de ciertas conductas a partir de los datos obtenidos con distintos individuos). Los análisis nomotéticos se construyen para un número de casos individuales y son más propios de la

utilización de métodos de autoinforme.

La entrevista, como se ha descrito anteriormente, es el método de evaluación que permite aglutinar la información procedente de los cuestionarios y la autoobservación, junto con la evaluación de otras personas y profesionales vinculados al deportista como el médico deportivo.

Autoinformes

En términos generales, un **autoinforme** es la respuesta verbal que una persona ofrece sobre cualquier tipo de manifestación conductual propia, en relación con diferentes momentos o situaciones de la vida de ésta. El autoinforme se puede realizar mediante diferentes **procedimientos**: en el marco de una entrevista, donde una persona pide información y la otra la proporciona; a través de un formulario de preguntas o enunciados en forma de cuestionario, inventario o escala, y mediante un autorregistro, en el que la persona debe registrar (p. ej., en una hoja de papel) la aparición de la conducta en una situación determinada.

La relación coste/especificidad que conlleva la utilización de estos métodos indirectos de recogida de información, en cuanto que permiten rastrear los tres sistemas de respuesta (cognitivo, fisiológico y motor) con relativa simplicidad, ha posibilitado que se constituyan en un elemento habitual del proceso de evaluación conductual. Tomando como referencia la celebración del Primer Congreso Internacional de Psicología del Deporte en Roma, en 1965, se observa una evolución desde la utilización generalizada de cuestionarios de personalidad a la utilización de instrumentos específicos respecto al tipo de deporte y al contexto deportivo. Las razones que han motivado esta evolución han sido, por una parte, la adopción de una perspectiva interaccionista en el estudio de la personalidad y, por otra, el creciente interés por realizar investigaciones e intervenciones aplicadas.

La evaluación mediante instrumentos de autoinforme debe complementarse siempre que sea posible con la utilización de otros métodos de evaluación, fundamentalmente la entrevista. De esta forma, será posible detectar y corregir algún posible error en la respuesta a los ítems y completar la información aportada por la persona en cada caso para hacer una correcta y completa evaluación funcional, sin conformarnos únicamente con las puntuaciones numéricas. Así, el análisis pormenorizado de los ítems y la ampliación de la información en el marco de la entrevista permitirán que

cualquiera de estos instrumentos tenga una aportación mucho más amplia en el proceso de evaluación.

Este sería el caso de un deportista, pero el planteamiento sería análogo en el caso de un entrenador, un alumno, un profesor, árbitro o padre/madre. La posible **intervención psicológica**, considerando el contenido y las características de la evaluación conductual de la persona en cuestión, debe poder plantearse en consecuencia en las siguientes **direcciones**: (i) estrategias que permitan modificar en la dirección adecuada las manifestaciones cognitivas, fisiológicas y motrices de la conducta del deportista (p. ej., la técnica de detención del pensamiento para interrumpir la actividad cognitiva disfuncional o técnicas de autorregulación muscular y de respiración para aliviar el exceso de activación fisiológica); (ii) estrategias que permitan eliminar o aliviar en lo posible las situaciones potencialmente estresantes (p. ej., conflictos familiares, problemas relacionados con la vivienda o el alojamiento, falta de amistades al cambiar de lugar de residencia, presión de los padres) y adecuar las demandas del entrenamiento y de la competición en cuanto a su novedad, esfuerzo y dificultad (p. ej., progresión adecuada en el trabajo técnico, períodos de descanso físico y mental que eviten el sobreentrenamiento, ajuste del grado de trascendencia de la competición); (iii) estrategias que permitan al deportista controlar las consecuencias negativas de su conducta (p. ej., habilidades de autoobservación y evaluación del rendimiento, autoinstrucciones para el control de conductas agresivas), y (iv) estrategias que permitan modificar las características estables del deportista en la dirección adecuada (p. ej., reestructuración cognitiva con el objetivo de desarrollar un estilo de funcionamiento cognitivo más adecuado y flexible, entrenamiento en habilidades de afrontamiento como las autoinstrucciones, el control atencional y el establecimiento de objetivos).

Síntesis

- ▶ Numerosas variables psicológicas de carácter individual y grupal están implicadas en la optimización del rendimiento deportivo y pueden ser consideradas en el proceso del entrenamiento.
- ▶ La evaluación psicológica mediante el análisis funcional de la conducta tiene como objetivo recopilar información de los deportistas como requisito previo al planteamiento de un programa de entrenamiento

psicológico.

- El análisis funcional de la conducta debe seguir un proceso sistemático realizado por psicólogos y otros profesionales con adecuada formación metodológica y científica. Este análisis debe realizarse mediante métodos directos (como la autoobservación, la observación y los registros fisiológicos) e indirectos (como la entrevista y los autoinformes) seleccionados considerando cada situación específica, las conductas a evaluar y la relación coste-especificidad.
- Considerando la evaluación conductual, la intervención psicológica puede orientarse a establecer estrategias que permitan modificar en la dirección adecuada las manifestaciones cognitivas, fisiológicas y motrices de la conducta del deportista; que permitan eliminar o aliviar en lo posible las situaciones potencialmente estresantes y adecuar las demandas del entrenamiento y de la competición en cuanto a su novedad, esfuerzo y dificultad; que permitan al deportista controlar las consecuencias negativas de su conducta, y que permitan modificar las características estables del deportista en la dirección adecuada.

Cuestionario de asimilación

1. Señala el principal objetivo de la evaluación psicológica en el ámbito del deporte.
2. Indica qué personas deben realizar un análisis funcional de la conducta del deportista.
3. Enumera los métodos directos e indirectos utilizados habitualmente para el análisis funcional de la conducta del deportista.
4. Justifica los criterios en que debe basarse la utilización de los distintos métodos de análisis funcional de la conducta del deportista.
5. Describe en qué consiste la autoobservación y la observación como métodos de análisis de la conducta e indica las situaciones en las que su utilización es especialmente útil.
6. Indica cuál es el principal método utilizado para el análisis funcional de la conducta del deportista.
7. Señala los principales objetivos que persigue la intervención

psicológica en el deportista.

Técnicas y estrategias de entrenamiento psicológico para la mejora del rendimiento

Fernando Gimeno Marco

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las técnicas de entrenamiento psicológico que han mostrado ser efectivas durante el proceso de entrenamiento de los deportistas.
- Conocer las dificultades asociadas a la aplicación de programas de entrenamiento psicológico.
- Comprender la importancia de integrar el entrenamiento psicológico con el resto de objetivos que persigue el proceso de entrenamiento.

Índice:

2.1. Técnicas de entrenamiento psicológico

Reestructuración cognitiva

Entrenamiento de autoinstrucciones

Establecimiento de objetivos y gestión del tiempo

Entrenamiento de habilidades sociales

Modelado

Técnicas de autorregulación muscular

Entrenamiento de imaginación

Detención del pensamiento

Técnicas de control del dolor

Toma de conciencia y regulación del nivel de activación

2.2. Diseño y aplicación de programas de entrenamiento psicológico

Síntesis

Cuestionario de asimilación

A lo largo de la historia de la psicología del deporte, la identificación y selección de las **técnicas de entrenamiento psicológico** más adecuadas se ha realizado a través de estas dos vías. Mediante la **evaluación de las características y habilidades psicológicas de deportistas de alto nivel** que obtuvieron éxito deportivo en Juegos Olímpicos y Campeonatos del Mundo. Éste es el caso de investigaciones de referencia en Psicología del Deporte como las de Orlick y Partington (1988) y McCaffrey y Orlick (1989). En ambos trabajos se encontró que los deportistas de elite se caracterizaban por un fuerte compromiso con el deporte que practican y por la utilización de técnicas de imaginación, establecimiento de objetivos, planificación de la precompetición y competición, control de las distracciones, reconocimiento y aceptación de las situaciones de presión y análisis objetivo de la competición diferenciando entre una buena y una mala actuación. Sobre la base de esta información se implementan técnicas y estrategias psicológicas para el aprendizaje y desarrollo de estas características y habilidades en deportistas que persiguen la mejora de su rendimiento. Mediante la **aplicación de la tecnología procedente de la modificación de conducta**, desarrollada inicialmente en el ámbito de la psicología clínica y trasladada posteriormente a otros ámbitos de la psicología aplicada (p. ej., educación, trabajo, deporte). La evaluación conductual del deportista mediante la metodología del análisis funcional de la conducta descrito anteriormente está dirigida a la identificación y la explicación de las **conductas problema** y de las **conductas de control**. Sobre la base de esta información se plantean hipótesis sobre las técnicas de modificación de conducta más apropiadas para el mantenimiento y fortalecimiento de las primeras y para la reducción o eliminación de las segundas. Éste el caso de la intervención psicológica realizada con deportistas que presentan respuestas de ansiedad condicionada ante diferentes situaciones externas o internas (Gimeno y Ezquerro, 2006).

El **entrenamiento psicológico** del deportista debe entenderse integrado en su **plan general de preparación**, junto y coordinado con el entrenamiento físico, técnico y táctico. De esta forma, la planificación de la preparación psicológica del deportista podrá ir dirigida a la mejora de su funcionamiento psicológico, pero también orientado directamente a la mejora de su

preparación física, técnica y táctica. En el caso de la existencia de un trastorno de conducta podrá considerarse la posibilidad de una atención psicológica especializada (atención clínica) con un mayor grado de autonomía o independencia del entrenamiento deportivo. Pero incluso en estos casos debe considerarse la posibilidad del apoyo terapéutico en el contexto de la práctica deportiva en el propio diseño del tratamiento psicológico (p. ej., casos de trastornos del estado de ánimo en los que una adecuada implicación en un programa de actividad deportiva puede constituir uno de los apartados del tratamiento).

Se describe a continuación un conjunto de técnicas psicológicas que se han mostrado útiles en intervenciones psicológicas en el ámbito del deporte dirigidas a la mejora del rendimiento deportivo, la prevención y recuperación de lesiones, etc.

2.1. Técnicas de entrenamiento psicológico

Reestructuración cognitiva

El proceso de **reestructuración cognitiva** o modificación de pensamientos disfuncionales (en ocasiones denominados también irracionales, disruptivos, derrotistas o negativos) está basado en trabajos como los de Ellis (1962) y Beck (1963), que ya en estas primeras publicaciones postulan que las emociones y conductas de las personas están influidas por su percepción de los acontecimientos presentes o pasados. No es una situación en y por sí misma la que determina lo que una persona siente, sino más bien la forma en que ella interpreta la situación. Partiendo de esta fundamentación, la reestructuración cognitiva persigue, en el caso de un deportista, enseñarle a **modificar los pensamientos disfuncionales** asociados al entrenamiento o la competición (p. ej., no avanzo nada, esto no tiene solución, nunca más podré ser como antes) con el objetivo, en este caso, de favorecer la mejora del rendimiento. En el contexto de la competición deportiva, la reestructuración cognitiva puede ser una técnica útil si se utiliza para la modificación de pensamientos disfuncionales que puedan propiciar en el deportista un alto estrés y/o conductas impulsivas o agresivas (p. ej., tengo que dar el 110%, no puedo fallar, nada me sale bien).

Entrenamiento de autoinstrucciones

Mediante el **entrenamiento de autoinstrucciones** (Meichenbaum y Goodman, 1969) se pretende sustituir los monólogos internos de carácter derrotista y negativo (p. ej., no soy capaz, no vale la pena seguir intentándolo, siempre fracaso) por **autoinstrucciones positivas** que guíen hacia la acción y el afrontamiento de una determinada situación (p. ej., vale la pena intentarlo, sabía que esto podía ocurrir, no me está resultando fácil pero continuaré, la próxima vez saldrá mejor). No se trata simplemente de sustituir o cambiar directamente estos monólogos internos, sino que las creencias, las actitudes, las expectativas que los sustentan deben ser coherentes con el contenido de aquéllos. En este sentido, el entrenamiento en autoinstrucciones puede ser una técnica idónea para ser utilizada de forma combinada con otras técnicas psicológicas como la reestructuración cognitiva, o para ayudar al deportista a aplicar otras técnicas psicológicas como el entrenamiento en imaginación o los esquemas de trabajo físico, técnico y táctico.

Establecimiento de objetivos y gestión del tiempo

La técnica de **establecimiento de objetivos y gestión del tiempo** ha mostrado ser eficaz para la mejora del rendimiento (Weimberg y Gould, 1996) y para el control del estrés (Buceta, 1999). Por ello, en el contexto del entrenamiento deportivo también se constituye en una técnica de gran utilidad, en particular al favorecer un adecuado manejo de la atención hacia los elementos y contenidos importantes de la ejecución, así como el desarrollo y la utilización de recursos de afrontamiento.

Un deportista puede aprender a utilizar esta técnica no sólo en relación con su actividad deportiva, sino también en otras actividades y contextos de su vida. Por ejemplo, durante el período en el que el deportista está lesionado debe aprender a vivir en esta nueva situación consiguiendo que sea una etapa en la que no sólo maneje eficazmente el impacto emocional de la lesión y consiga una óptima adhesión a las tareas de la rehabilitación, sino que alcance además otros logros como unas relaciones interpersonales gratificantes con personas significativas para él (p. ej., familia, amigos, compañeros del equipo o club, entrenador, etc.), aprender o mejorar habilidades personales que pueden serle de utilidad en la incorporación a la actividad deportiva, avanzar en cuestiones académicas en el caso de estar

cursando algún tipo de estudios, etc. Para ello, el período de rehabilitación debe estar adecuadamente estructurado con objetivos realistas, planteados de forma progresiva y atrayentes para el deportista. De la misma forma que en circunstancias normales el deportista tiene (o podría tener) planificado su tiempo con tareas, actividades y objetivos relacionados con su deporte y con otras facetas de carácter personal, académico e incluso profesional, durante la lesión el deportista debe comprender que él puede asumir el reto de planificar su entrenamiento con una perspectiva diaria, semanal o mensual, de forma análoga a los microciclos, mesociclos y macrociclos característicos de una planificación deportiva.

Para conseguir este esquema de funcionamiento personal, las técnicas de establecimiento de objetivos y de gestión del tiempo resultan de un obvio interés y utilidad. Con las técnicas de establecimiento de objetivos se persigue que el deportista aprenda a establecer objetivos de realización y de resultado adecuadamente coordinados y vinculados entre sí en una perspectiva temporal a corto, medio y largo plazo. De esta forma, con ayuda de esta técnica, el deportista puede aprender a realizar su propia planificación durante una temporada o ciclo deportivo.

Los **criterios** a tener en cuenta para la eficaz aplicación de las técnicas de establecimiento de objetivos son:

- Plantear objetivos concretos, observables y medibles. Establecer objetivos generales como la mejora de su porcentaje de tiro en el baloncesto es relativamente fácil, pero resulta difícil determinar cómo hacerlo sin criterios específicos o directrices. Especificar cómo y cuándo hacer las cosas ayuda a la consecución de este objetivo general. Un objetivo medible es el que se puede cuantificar, lo que permitirá estimar la proximidad de la consecución de ese objetivo. Objetivos observables son los que pueden medirse y son específicos.
- Establecer claramente el período temporal en el que un determinado objetivo debe estar presente y especialmente la fecha de su consecución.
- Plantear objetivos moderadamente difíciles porque son los que empujan a un deportista a trabajar duro y a experimentar una mayor satisfacción cuando se alcanzan.
- Escribir los objetivos y vigilar periódicamente los progresos. Los objetivos son ineficaces si se olvidan. Llevar un registro, planificación o agenda donde los objetivos estén claramente reflejados puede ayudar tanto en la implicación como en la supervisión.

- Utilizar objetivos a corto plazo como etapas intermedias para la consecución del objetivo estratégico.
- Establecer objetivos de ejecución referidos a conductas específicas. Estos objetivos deben coincidir con los objetivos personales que el deportista se propone para la competición (p. ej., objetivos relacionados con la actitud en la competición, prestar atención a determinados estímulos, utilización de destrezas mentales, etc.).
- Los objetivos deben ser interiorizados por el deportista y sentidos como propios en lugar de impuestos externamente por el entrenador.
- Establecer objetivos tanto positivos como negativos (p. ej., aumentar/reducir el número de veces). Siempre que sea posible es preferible fijar metas en términos positivos, centrándose en los comportamientos que deben estar presentes en lugar de los que deberían estar ausentes. Esto puede ayudar al deportista a concentrarse en el éxito en lugar de en el fracaso.
- Identificar una metaestrategia de progreso. Es importante entender la diferencia entre el establecimiento de objetivos y la determinación de una estrategia que ayudará a lograr los objetivos. Es decir, diferenciar entre qué quiero conseguir y cómo puedo conseguirlo.
- Buscar apoyos para la consecución de los objetivos planteados. Además del entrenador, otros entrenadores, familiares, amigos, maestros y compañeros.
- Participación del deportista y/o del equipo en el proceso de establecimiento de objetivos.

Entrenamiento de habilidades sociales

El **entrenamiento de habilidades sociales** puede ser una excelente estrategia para mejorar el rendimiento cuando se incluye en el plan general de preparación deportiva con el objetivo de **mejorar la comunicación y las relaciones interpersonales** del deportista, los compañeros del grupo o equipo, los miembros del equipo técnico, los responsables del club o equipo y los padres y madres de deportistas jóvenes (Gimeno, 2003a y 2003b). En el caso concreto del deportista la mejora de su competencia social en habilidades asertivas (Caballo, 1991), como la formulación y recepción de críticas, la expresión justificada de molestia, o enfado, la solicitud de un favor, etc., puede permitirle controlar más eficazmente los efectos negativos

del estrés relacionados con las relaciones interpersonales en su deporte y también favorecer la utilización de conductas de un alto valor preventivo en la aparición de una lesión, por ejemplo, ser capaz de comunicar al entrenador un malestar significativo de naturaleza física o psicológica.

La comunicación de las personas vinculadas con el deportista (médico, fisioterapeuta, psicólogo, entrenador, preparador físico, etc.) es fundamental para ayudar al deportista a que exprese sus temores, dificultades, sensaciones, etc., pero también para saber transmitir la información adecuada sobre los objetivos y el trabajo a realizar durante la temporada. Por esta razón, el entrenamiento de habilidades sociales puede ser una estrategia adecuada para cualquiera de estas personas cuando el objetivo sea mejorar su competencia social y, con ello, la relación y el trabajo que cada uno lleva a cabo con el deportista.

De forma complementaria, el entrenamiento de habilidades sociales puede ayudar al deportista a mejorar su comunicación con este grupo de profesionales, pero también con otras personas significativas de su entorno de las que pueda solicitar y recibir apoyo.

Modelado

El **modelado** es una técnica utilizada para el aprendizaje o eliminación de una conducta a través de la **observación de un modelo** que ejecuta (o no ejecuta) tal conducta. Esta técnica, basada en el aprendizaje vicario por imitación u observacional, tiene su referente conceptual principal en la teoría del aprendizaje social de Bandura (1977). A través del modelado pueden aprenderse conductas motrices (p. ej., gestos, formas de actuar, movimientos técnicos), fisiológicas (p. ej., aumentar o disminuir la activación) y cognitivas (p. ej., opiniones, actitudes, creencias).

En el contexto de la prevención de lesiones será de gran importancia utilizar con los deportistas modelos que constituyan buenos ejemplos. Por ejemplo, deportistas conocidos que muestran comportamientos y actitudes eficaces para la solución de problemas o dificultades, el manejo de la ansiedad previa a la competición, etc. Pero también serán de gran utilidad los modelos de deportistas que muestren comportamientos y actitudes inadecuados que les llevaron a cometer errores, en este caso con el objetivo de impedir o evitar actuar de tal forma.

En cualquier caso, es importante señalar que la simple exposición de un

modelo no origina automáticamente un cambio de comportamiento. Es necesaria una labor que garantice los procesos psicológicos responsables del aprendizaje: atención, retención, ejecución y motivación.

Finalmente, en la decisión de utilizar la técnica de modelado debe valorarse si es conveniente utilizarla como única estrategia o, como suele ser lo habitual, en combinación con otras técnicas como el entrenamiento en autoinstrucciones, técnicas operantes como el reforzamiento positivo, etc.

Técnicas de autorregulación muscular

En las **técnicas de autorregulación muscular** se incluyen técnicas de relajación y de respiración que el deportista puede utilizar para ajustar su tensión muscular, generalmente con el objetivo de reducirla, de una forma general o localizada. Estas técnicas tienen diferentes **aplicaciones**: controlar algunas manifestaciones del estrés, especialmente las de naturaleza fisiológica; facilitar el descanso en sesiones o períodos de recuperación, o durante la noche; reducir la activación de zonas localizadas del cuerpo como las afectadas por la lesión, o favorecer el entrenamiento en imaginación en las circunstancias en las que proceda realizarlo con un nivel bajo de activación física.

Las técnicas de relajación que han tenido un mayor desarrollo y utilización en el ámbito del deporte son el entrenamiento de la relajación muscular progresiva de Jacobson (1938) y el entrenamiento autógeno de Schultz (1959). El fundamento del **entrenamiento en relajación muscular progresiva** es la tensión y relajación sistemática de varios grupos de músculos y la atención y discriminación de las sensaciones resultantes de la tensión y la relajación; de esta forma una persona puede eliminar casi completamente las contracciones musculares y experimentar una sensación de relajación profunda.

El **entrenamiento autógeno**, en el ciclo inferior, consta de una serie de ejercicios relacionados con el manejo de la atención interna dirigidos al control de funciones del sistema vegetativo. Las sensaciones de calor y pesadez que pueden obtenerse a través de este primer ciclo pueden ser especialmente útiles para relajar y favorecer la recuperación de zonas con lesiones que cursen con dolor y cuyo movimiento o manipulación estén contraindicados. En el ciclo superior se desarrolla un trabajo en imaginación desde el estado de relajación que posibilita a su vez la consecución de una

relajación más profunda.

En el caso de ambas técnicas es interesante utilizar versiones abreviadas que favorezcan el aprendizaje y adhesión como el método de bajo coste inicial de Buceta (1987).

En cuanto a las **técnicas de respiración**, al igual que los anteriores métodos de relajación comentados, se han mostrado útiles en la reducción de la ansiedad, la tensión muscular y la fatiga. Las técnicas y ejercicios de respiración son numerosos, pero todos ellos inciden en dos variables fundamentales: la amplitud o volumen de aire inspirado y la frecuencia. Si el objetivo que se pretende con la relajación es disminuir la activación, se utilizarán técnicas o ejercicios que favorezcan una amplitud elevada y la frecuencia respiratoria baja o lenta. Si por el contrario, el objetivo que se pretende es aumentar la activación, se utilizarán técnicas o ejercicios que favorezcan una amplitud baja y una frecuencia respiratoria alta o rápida.

Las técnicas de respiración son sencillas de aprender y también suele ser relativamente fácil su utilización. En el contexto específico de la prevención de lesiones, estas técnicas pueden ser muy útiles para recuperar en situaciones estresantes el control sobre el nivel de activación, por ejemplo, en la competición después de cometer un error.

Entrenamiento de imaginación

El **entrenamiento de imaginación**, o ensayo conductual de imaginación, es una técnica que implica la utilización de todos los sentidos (la vista, el oído, el olfato, el gusto, y el tacto) con el objetivo de **recrear una experiencia mental**.

Los deportistas pueden utilizar esta técnica para diferentes **aplicaciones**, por ejemplo: práctica de habilidades deportivas, práctica de toma de decisiones relacionadas con la táctica individual o del equipo, facilitación del aprendizaje de habilidades deportivas, solución de problemas, práctica de habilidades psicológicas, evaluación del rendimiento en la competición y control de respuestas fisiológicas. En todos estos casos, el entrenamiento de imaginación puede contribuir a mejorar la competencia y la percepción del control del deportista favoreciendo un funcionamiento psicológico más adecuado. En el contexto específico de la rehabilitación de lesiones, la experiencia mental del proceso fisiológico que debería producirse para conseguir una adecuada recuperación, así como la del efecto beneficioso del

tratamiento de fisioterapia, se han encontrado asociadas a un mejor pronóstico del proceso de rehabilitación (Ievleva y Orlick, 1991).

Para la implementación de un programa de imaginación es necesario garantizar las siguientes fases o procesos:

- El conocimiento y la predisposición positiva del deportista a utilizar esta técnica.
- La capacidad del deportista para trabajar la imaginación con diferentes modalidades sensoriales.
- Fase de entrenamiento de habilidades básicas de ensayo de imaginación.
- Diseño e incorporación en el programa de entrenamiento del deportista de un programa sistemático de práctica en imaginación.

Para evaluar la eficacia de un programa de ensayo de imaginación es preciso considerar los siguientes indicadores:

- La percepción de control del deportista sobre las imágenes, tanto el desarrollo de las imágenes relevantes para mejorar su rendimiento, como la manipulación de dichas imágenes a voluntad.
- La utilización sistemática del ensayo de imaginación en las situaciones del entrenamiento y/o la competición en las que se pretende conseguir una mejora conductual y, por consiguiente, del rendimiento del deportista.

Detención del pensamiento

La **detención del pensamiento** es una técnica que se ha mostrado útil para el **control de los diálogos internos**, especialmente cuando éstos tienen un carácter erróneo o destructor. En términos generales, esta técnica se basa en la utilización de una **respuesta de choque** para interrumpir o parar el pensamiento no deseado. Esta respuesta de choque puede ser una palabra como ¡basta! o ¡stop! y/o una acción física como una palmada en la pierna, un chasquido de dedos, el golpe de una goma elástica sobre la muñeca, etc. Cada deportista elegirá aquella respuesta de choque que le resulte más natural y eficaz. La utilización de la respuesta de choque debe ir seguida por una **respuesta complementaria** que permita al deportista centrar su atención y llevar a cabo una acción adecuada en la situación en la que se encuentra (Meyers y Schleser, 1980; Cautela y Wisocki, 1977). En el contexto de la prevención de lesiones, esta técnica puede ser útil para facilitar el control de la ansiedad cognitiva en situaciones de riesgo debido a la complejidad o

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

dificultad de la tarea a realizar, o contribuyendo a reducir la ansiedad generalizada que pudiera favorecer el agotamiento psicológico del deportista.

Técnicas de control del dolor

Cuando la prescripción médica aconseja que el deportista sea capaz de incrementar la tolerancia al dolor, las **técnicas de control del dolor** utilizadas generalmente incluyen la utilización de estrategias cognitivoconductuales como el entrenamiento de imaginación o el entrenamiento de autoinstrucciones como fuente de distracción o con el objetivo de apartar la atención de los estímulos dolorosos (Williams y Roepke, 1993). Un modelo que permite organizar las diferentes **estrategias mentales para controlar el dolor** es la **matriz propuesta por Heil** (1993), que combina la atención y la distracción, por un lado, y el dolor y las tareas de rehabilitación, por otro, dando lugar a cuatro estilos o dimensiones atencionales (tabla 7.1).

Sin embargo, cuando un deportista lesionado refiere un dolor muy intenso y/o con una duración excesiva, es importante la **evaluación del significado que el deportista asigna al dolor** evitando la aplicación de técnicas como las mencionadas anteriormente por sistema. En estas circunstancias cabe destacar la posibilidad de identificar los siguientes casos posibles que requieren una **adecuación de las técnicas de control del dolor**:

- Cuando la conducta de dolor puede ser utilizada para obtener algún tipo de refuerzo como simpatía, atención o algún tipo de favor o ventaja especial. En estos casos, la utilización de técnicas operantes como la omisión puede reducir las quejas de dolor propiciando que el deportista lesionado comience a utilizar un estilo de afrontamiento activo.
- Cuando la percepción real o imaginada de una alta intensidad de dolor puede presentarse asociada a una respuesta de evitación acompañada de alta ansiedad. En los casos en que se confirme una respuesta de miedo condicionado al dolor o de evitación interoceptiva (Gimeno y Ezquerro, 2006), la intervención dirigida a conseguir el proceso de contracondicionamiento deberá incluir técnicas de exposición al dolor con el apoyo de técnicas descritas anteriormente como el entrenamiento de autoinstrucciones, las técnicas de autorregulación muscular y el entrenamiento de imaginación.

TABLA 7.1. Estrategias para el control del dolor en la matriz de dolor y actividad de Heil

	<i>Atención al dolor</i>	<i>Distracción del dolor</i>
Atención a las tareas de la rehabilitación	Asociación del dolor a la ejecución y/o al resultado que se pretende conseguir en la tarea de la rehabilitación	Atención externa o atención interna no relacionada con la sensación de dolor, focalizada en la ejecución de la tarea y/o en el resultado que se pretende conseguir en la tarea de la rehabilitación
Distracción de las tareas de la rehabilitación	Imaginación de los procesos que controlan el dolor Transformación de la sensación de dolor	Atención a imágenes agradables o neutras no relacionadas con la tarea de la rehabilitación Actividad mental rítmica y monótona

Adaptado de Buceta JM. Psicología del entrenamiento deportivo. Dykinson, 1998.

- Cuando el dolor cobra un mayor significado para el deportista, por ejemplo constituyendo el único mecanismo mediante el cual puede evitar regresar a la actividad deportiva cuando ésta se percibe altamente aversiva. En estos casos será necesaria una evaluación detallada que explore los objetivos y expectativas del deportista a corto, medio y largo plazo, su estilo atribucional, especialmente el relacionado con los éxitos y fracasos deportivos, y su red de apoyo social.

Toma de conciencia y regulación del nivel de activación

La **toma de conciencia y regulación del nivel de activación** es importante en el entrenamiento y en la competición deportivos cuando se persigue la mejora del rendimiento o la consecución del rendimiento máximo. Es preciso que el deportista sea consciente de su estado emocional o nivel de activación y sea capaz de ajustarlo al nivel cuantitativo y cualitativo que considere adecuado para la ejecución que pretende. De esta forma, la toma de conciencia es el primer paso para mejorar el control en cualquier situación relevante de la práctica del deporte. El objetivo que se pretende es ayudar al deportista a tomar **conciencia de su estado ideal de ejecución** y a automatizar las conductas que ya está utilizando para alcanzar ese estado.

2.2. Diseño y aplicación de programas de entrenamiento psicológico

En la implementación de **programas de entrenamiento psicológico**, los **problemas habituales** que se encuentran son los siguientes: (i) superar la reticencia del deportista a participar en un programa de entrenamiento mental; (ii) la falta de tiempo disponible para trabajar con el deportista; (iii) ganar la confianza de los atletas; (iv) garantizar que los deportistas practican sistemáticamente las destrezas mentales; (v) la falta de conocimientos específicos del profesional que dirige el programa de entrenamiento psicológico; (vi) la dificultad de contacto permanente con el deportista durante toda la temporada, y (vii) obtener la plena cooperación del entrenador y, en su caso, de la organización (club, equipo, etc.) (Weinberg y Williams, 2006).

Otras dificultades asociadas a la aplicación de programas de entrenamiento psicológico se refieren a: (i) la integración del entrenamiento psicológico con el conjunto del entrenamiento deportivo para favorecer una coherente transferencia a situaciones competitivas; (ii) conseguir una adecuada combinación de variedad y reto para evitar el aburrimiento y aumentar el disfrute; (iii) la promoción de beneficios a largo plazo para garantizar que cada sesión de entrenamiento contribuya sistemáticamente al desarrollo del deportista; (iv) reducir al mínimo los picos y bajadas de rendimiento; (v) evitar el desgaste del entrenamiento psicológico por la exigencia de tiempo y horarios; (vi) garantizar la disposición del deportista a rendir al máximo en la competición, y (vii) mejorar la adhesión al entrenamiento mental de forma continuada en el tiempo.

TABLA 7.2. Ejemplo de periodización del entrenamiento psicológico

<i>Herramienta de entrenamiento mental</i>	<i>Recuperación</i>	<i>Preparatoria</i>	<i>Competitiva</i>	<i>Momentos punta o pico</i>
Volumen Intensidad	Moderado a bajo Moderada a baja	Alto Baja	Moderado Moderada	Bajo Alta
<i>Ensayo de imaginación</i>	Viveza, controlabilidad, conciencia sensorial, ensayo de imaginación interno y externo	Ensayo de imaginación en momentos previos al entrenamiento y a la competición, después del entrenamiento y después de la competición	Ensayo de imaginación en el lugar específico, durante las rutinas de ejecución, de la ejecución excelente y de situaciones próximas	Ensayo de imaginación del momento excelente de ejecución, durante la rutina previa a la ejecución, de la estrategia/plan de juego y de afrontamiento
<i>Autoinstrucciones, autodiálogo, diálogo interno</i>	Desarrollar la habilidad de diálogo interno, identificar patrones de autodiálogo negativo, ejercicios de autodiálogo de sensibilización	Leer el guión antes del entrenamiento y de la competición, aplicación de la técnica de detención del pensamiento durante el entrenamiento	Discusión de pensamientos negativos usando contraargumentos, aplicación de la técnica de la detención del pensamiento de la competición, señales de autodiálogo (autoinstrucciones)	Discusión de pensamientos negativos en situación real, revisar y leer el guión para las situaciones significativas, señales específicas de autodiálogo para situaciones significativas, entrenamiento en autoinstrucciones positivas
<i>Relajación (técnicas de autorregulación muscular)</i>	Respiración diafragmática, relajación muscular progresiva, ejercicios de concienciación del estrés	Entrenamiento de relajación con estímulos condicionados, práctica diaria de relajación en los momentos estresantes	Relajación abreviada en el entrenamiento y la competición, rutina de relajación previa a la competición	Relajación en la situación real, relajación funcional durante la situación o momento principal, relajación durante la rutina previa a la competición
<i>Establecimiento de objetivos</i>	Objetivos a largo plazo, intermedios, técnicos y condicionados/ relacionados	Objetivos a corto plazo, práctica diaria de objetivos, objetivos de planes de acción	Práctica diaria de objetivos a corto plazo, objetivos de la competición, tácticos y para una actitud mental positiva	Objetivos de estrategia para la competición principal, objetivos de ejecución para la competición principal, de actitud mental positiva para la competición principal y práctica correspondiente de objetivos

Adaptado de Holliday B et al. Journal of Applied Sport Psychology 2008;20(2): 199-219.

Para la **prevención de los problemas habituales**, no sólo es preciso realizar adecuadamente una evaluación conductual que permita argumentar las técnicas psicológicas más adecuadas en cada caso, sino también diseñar un programa de entrenamiento psicológico coordinado con el plan general de entrenamiento del deportista, considerando la periodización necesaria de éste a lo largo de la temporada.

En la tabla 7.2 se muestra un **ejemplo de periodización del entrenamiento psicológico** considerando la utilización de algunas de las técnicas descritas anteriormente.

Síntesis

- El entrenamiento psicológico se basa, por una parte, en utilizar técnicas y estrategias psicológicas para que el deportista aprenda y desarrolle las características y habilidades psicológicas observadas en deportistas de alto nivel y, por otra, en aplicar al deporte las estrategias utilizadas inicialmente en el ámbito de la psicología clínica con el objetivo de mantener y fortalecer las conductas positivas y eliminar o reducir las conductas negativas.
- El entrenamiento psicológico, excepto en el caso de que exista un trastorno de la conducta, no ha de considerarse un tratamiento clínico, debiendo integrar y fortalecer al resto de objetivos de entrenamiento.
- Son numerosas las técnicas de entrenamiento psicológico que se han mostrado útiles para optimizar el rendimiento deportivo y para la prevención y recuperación de lesiones.
- La técnica de reestructuración cognitiva se utiliza con el objetivo de enseñar al deportista a modificar pensamientos disfuncionales o negativos asociados al entrenamiento o la competición.
- La técnica de entrenamiento de autoinstrucciones pretende sustituir los monólogos internos de carácter derrotista y negativo mediante la modificación de las creencias, actitudes y expectativas que lo sustentan por autoinstrucciones positivas que permitan afrontar las distintas situaciones del proceso de entrenamiento.
- El establecimiento de objetivos moderadamente difíciles, concretos, observables y medibles, concretando en el tiempo objetivos parciales del objetivo final y las pautas estratégicas para su consecución, es una estrategia que ha demostrado ser efectiva para mejorar el rendimiento, para controlar el estrés y para el proceso de recuperación de una lesión.
- El entrenamiento de habilidades sociales es una estrategia adecuada para mejorar las relaciones interpersonales de todo el equipo multidisciplinario de trabajo. Además, favorece que el deportista afronte conductas y exprese pensamientos y sensaciones sobre cualquier aspecto vinculado al proceso de entrenamiento o capaz de alterar su adecuado desarrollo.
- El entrenamiento de modelado pretende exponer al deportista ejemplos de las consecuencias de las conductas adecuadas o inadecuadas utilizadas por otros deportistas con el objetivo de ayudar, junto con otras

estrategias psicológicas, a reforzar sus conductas positivas y eliminar o disminuir sus conductas negativas.

- Las técnicas de autorregulación muscular como el entrenamiento de relajación muscular progresiva, el entrenamiento autógeno y el control de la respiración se han mostrado efectivas para controlar algunas manifestaciones de estrés, facilitar el descanso entre sesiones, reducir la activación de zonas lesionadas y favorecer el entrenamiento de imaginación.
- El entrenamiento de imaginación puede contribuir a mejorar la competencia y la percepción del control del deportista favoreciendo un funcionamiento psicológico más adecuado en la mayoría de situaciones asociadas al proceso de entrenamiento deportivo.
- La detención del pensamiento es una técnica psicológica que ha mostrado ser útil para controlar los diálogos internos del deportista, especialmente los de carácter erróneo o destructivo, favoreciendo respuestas complementarias que le permitan centrar su atención y actuar de acuerdo con cada situación.
- Las técnicas de control del dolor son una variedad de estrategias que han demostrado ser especialmente útiles para la incorporación del deportista a los entrenamientos y la competición. Dependiendo de cada situación se utilizan técnicas que pretenden apartar la atención de los estímulos dolorosos o técnicas que exponen al deportista a estos estímulos.
- Las técnicas de toma de conciencia y regulación del nivel de activación se han mostrado útiles para que el deportista aprenda a ajustar su estado emocional y de activación al considerado óptimo para la ejecución de cualquier aspecto asociado al proceso de entrenamiento deportivo y al rendimiento en competición.
- Para el diseño y aplicación de los programas de entrenamiento psicológico se debe prevenir la aparición de numerosas dificultades y problemas realizando una adecuada evaluación conductual que permita argumentar las técnicas psicológicas más adecuadas y diseñando un programa coordinado con la planificación del resto de objetivos de entrenamiento durante toda la temporada.

Cuestionario de asimilación

- 1.** Indica qué criterios se han utilizado para seleccionar las técnicas de entrenamiento psicológico que pueden ser efectivas para optimizar el rendimiento deportivo.
- 2.** Define las diferencias entre el entrenamiento psicológico y la psicología clínica.
- 3.** Enumera las principales técnicas de entrenamiento psicológico que han mostrado ser efectivas durante el proceso de entrenamiento de los deportistas.
- 4.** Establece los objetivos que persiguen en el ámbito deportivo la reestructuración cognitiva, el entrenamiento de autoinstrucciones y la detención del pensamiento.
- 5.** Define en qué consiste la técnica psicológica de modelado y qué objetivos persigue.
- 6.** Indica cuáles son las técnicas de autorregulación muscular más utilizadas en el ámbito del deporte.
- 7.** Señala qué consideraciones metodológicas se requieren para que la técnica de establecimiento de objetivos y gestión del tiempo sea útil durante el proceso de entrenamiento deportivo.
- 8.** Enumera las principales dificultades para poder implementar un programa de entrenamiento psicológico.
- 9.** Señala las directrices que hay que considerar para que un programa de entrenamiento psicológico sea realizado con éxito.

3

Estrés del entrenador: breve reflexión

Fernando Gimeno Marco

Quando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las causas por las que los entrenadores pueden experimentar situaciones de estrés.
- Comprender y reflexionar sobre la importancia de establecer estrategias que disminuyan las situaciones de estrés de los entrenadores.

Índice

[3.1. Estrés del entrenador: breve reflexión](#)

[Síntesis](#)

[Cuestionario de asimilación](#)

Para terminar, no podemos dejar de hablar del estrés que experimenta el entrenador. Por ello, en este apartado planteamos una breve reflexión que permita al lector comprender esta problemática y considerar la importancia que para el proceso de entrenamiento tiene su análisis e intervención.

3.1. Estrés del entrenador: breve reflexión

El **estrés del entrenador** es habitual en la mayoría de los ámbitos de práctica deportiva. La presión a la que están sometidos algunos entrenadores, la constante necesidad de ganar, la expectación que generan, la evaluación del público, las largas jornadas de entrenamiento y preparación de todos los detalles necesarios para competir de forma óptima, los viajes y sobre todo la gran variedad de relaciones interpersonales que debe mantener un entrenador son algunas de las **causas** que ocasionan agotamiento o estrés en los entrenadores.

Muchas veces se ha pensado que el estrés sólo lo pueden sufrir entrenadores de fútbol y de primera categoría. Sin embargo, se ha demostrado que es algo que padecen muchos entrenadores, independientemente del deporte o el nivel.

Se han realizado algunos estudios acerca del estrés de los entrenadores, y una de las preguntas que se han planteado los autores es precisamente si la presión por ganar puede ser la situación estimulante que desencadena esas respuestas de estrés. Kroll (1982) estudió a 100 entrenadores para investigar los aspectos que más estrés les causaban. La sorpresa fue que dos de las principales razones de su estrés estaban relacionadas con **problemas con los deportistas** bien por una mala relación o por no ser capaz de motivarlos adecuadamente. Por tanto, parece que no es tanto la presión por ganar como los problemas interpersonales los que favorecen este tipo de respuestas en los entrenadores. Estos resultados fueron muy relevantes con vistas a ayudar a los entrenadores a desarrollar habilidades de comunicación y estrategias de liderazgo más adecuadas para trabajar con cualquier tipo de deportista.

De forma indirecta, el hecho de que un entrenador aprenda a manejar sus niveles de estrés va a facilitar tanto la detección como el aprendizaje de

dichas habilidades por sus deportistas.

Generalmente, a pesar de ser un tema muy relevante, ha sido poco estudiado. A menudo, cuando se ha hablado del estrés del entrenador, muchos autores han tratado el estrés y el *burnout* o agotamiento psicológico como sinónimos, y son dos cosas diferentes. El *burnout*, y en muchos casos el abandono de esa actividad por un entrenador, pueden producirse cuando éste se sienta muy frustrado o cansado de sus diferentes tareas y de sus relaciones con los deportistas y otras personas involucradas en el deporte, lo que se convierte en continuos fracasos para conseguir los éxitos esperados. Esta situación se caracteriza por sentirse física, emocional y psicológicamente exhaustos, desarrollando actitudes muy negativas hacia su trabajo, su vida e incluso hacia sí mismo y los demás.

Sin llegar a este extremo, dentro de las tareas que debe desarrollar un entrenador encontramos un gran número de aspectos que pueden generar estrés más o menos grave: el número de horas de dedicación (la falta de horarios), presión por ganar, incomprensión del público, quejas, falta de recursos, soledad ante las decisiones, etc., sin olvidarnos del complejo entramado de relaciones interpersonales que debe manejar.

Sin embargo, mientras que el estrés del deportista puede ser detectado tanto por el entrenador como por familiares o compañeros y verse reflejado en cambios de rendimiento en el entrenamiento o en la competición, ¿quién detecta el nivel de estrés del entrenador? Éste puede llegar muy lentamente, sin darnos cuenta. A veces, un entrenador lleva semanas y semanas trabajando, e incluso años sin tomarse unas vacaciones para estar con amigos o con la familia. Cuando un entrenador está estresado suele mostrarse más susceptible, crítico o de peor humor. Suele ser mucho más resistente a cualquier sugerencia, lo que en definitiva hace que no resulte muy agradable estar cerca de él. Realmente, cuando alguien se encuentra así, de poco sirve tratar de ignorar lo que es evidente. Todavía muchas personas tienen la creencia de que si no piensan en algo que les preocupa, este algo va a desaparecer. Tal vez lo primero que debemos plantearnos es que el estrés del entrenador existe, que no es algo malo que deba ignorarse u ocultarse, y que existen diversos aspectos del trabajo de un entrenador que deberían mejorarse para tratar de evitar o paliar los efectos negativos de una actividad como la que desempeñan.

Cuando un entrenador siente que está aprendiendo y que cada vez conoce más el deporte en el que está trabajando, es más difícil que aparezcan

situaciones que provoquen estrés. Esto sugiere que es importante involucrarse y comprometerse para comprender cada vez mejor el deporte y que esta actividad suponga un reto. Esto daría significado a cada tarea realizada. Muchos entrenadores sienten la necesidad de mejorar y tener éxito, y éste, incomprensiblemente, sólo consiste en ganar. Otros muchos entrenadores pueden basar su éxito en mejorar las relaciones humanas, adquirir más experiencia o lograr que tanto los participantes como los espectadores se diviertan. Los entrenadores menos susceptibles a sufrir estrés tratan siempre de mejorar y crecer como personas y saben aprovechar cualquier situación, por muy adversa que sea, para seguir haciéndolo.

Sin embargo, cuando el estrés aparece, lo primero que debemos hacer es reconocerlo. El siguiente paso consiste en hacer algo. Algunas **sugerencias para evitar y controlar el estrés del entrenador** son las siguientes (Martens, 1987):

- Revisar los objetivos que tiene cada uno y su filosofía como entrenador. Repasar qué es lo que cada uno realmente quiere lograr, si los objetivos son realistas y razonables, etc. A veces, existe un conflicto entre lo que uno valora de su tarea como entrenador y lo que valora el resto de la sociedad, y esto puede llegar a ser muy estresante, por lo que conviene encontrar el mejor camino para resolver ese conflicto.
- Desarrollar y mantener un fuerte grupo de apoyo tanto de amigos como de familiares. La investigación ha demostrado que una excelente defensa contra el estrés es tener un grupo de personas con el que poder desahogarse y compartir los problemas. Cuando un entrenador no está muy satisfecho con sus relaciones, debe plantearse cómo puede mejorarlas.
- Hacer un buen ajuste del tiempo. Saber cuál es el tiempo dedicado al trabajo y disponer de tiempo cada día para uno mismo. Delegar responsabilidades cuando sea posible y encontrar el camino para hacer factible este manejo del tiempo.
- Buscar un equilibrio entre la vida deportiva y otro tipo de actividades alternativas. Muchos entrenadores deberían preguntarse cuánto tiempo dedican a la vida social, familiar o a cualquier otra actividad que no sea la estrictamente deportiva.
- Conocer las propias debilidades y los aspectos que le hacen a uno sentirse más vulnerable. Todos somos humanos y nadie puede hacer todo perfectamente ni saber de todo. Es importante tener expectativas realistas respecto al lugar que ocupamos para los otros y el que los otros ocupan

para nosotros.

- Cuidarse físicamente es algo que tiene enorme importancia. El entrenador es un modelo para sus deportistas, y, por otra parte, encontrarse bien físicamente hace que se tenga más vitalidad y energía en la vida.
- Conocer y utilizar las habilidades específicas sobre manejo del estrés.

Por último, hay que tener en cuenta que en ocasiones tanto el deportista como el entrenador se pueden sentir incapaces de manejar determinadas situaciones, siendo entonces conveniente que acudan a un especialista y tomen las medidas adecuadas para alcanzar una buena salud, tanto física como mental, y poder disfrutar compartiendo una actividad tan apasionante como es el mundo del deporte. En este sentido, la labor que puede desempeñar el psicólogo del deporte contribuirá de forma notable a mejorar el funcionamiento personal y deportivo tanto del entrenador y de los deportistas individualmente, como del grupo en su conjunto.

Síntesis

- Numerosos estudios han demostrado que el entrenador deportivo está sometido a una variedad de situaciones de estrés asociadas a la preparación y el rendimiento de los deportistas y a los aspectos de carácter organizativo.
- Las numerosas horas y experiencias que comparten el entrenador y el deportista determinan que su interrelación sea considerada uno de los factores claves del éxito deportivo. Debido a que el clima entre el entrenador y el deportista es naturalmente propenso a degradarse en el contexto de la competición de elite, la utilización de estrategias para controlar el estrés del entrenador es relevante para optimizar el rendimiento deportivo.
- La utilización de instrumentos para valorar la relación entre el entrenador y el deportista, como *The Coach-Athlete Relationship Questionnaire*, el desarrollo de habilidades de comunicación y liderazgo, el delegar adecuadamente funciones a su equipo multidisciplinario de trabajo, la motivación para progresar en el conocimiento de su deporte, el planteamiento de objetivos realistas y el control del estrés mediante técnicas específicas son estrategias adecuadas para mejorar el estado

psicológico del entrenador, su relación con los deportistas y el equipo de trabajo y el rendimiento en competición.

Cuestionario de asimilación

1. Enumera las principales causas asociadas al estrés del entrenador.
2. Indica qué entrenadores pueden estar sometidos a situaciones de estrés.
3. Señala qué situación provoca más estrés en el entrenador: la presión por ganar o las relaciones con sus deportistas.
4. Explica la importancia de controlar el estrés del entrenador para mejorar el proceso de entrenamiento de los deportistas.
5. Enumera algunas estrategias útiles para eliminar o reducir el estrés del entrenador.

Bibliografía

- Bandura A. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review* 1977; 84:191-215.
- Beck AT. Thinking and depression: Idiosyncratic content and cognitive distortions. *Archives of General Psychiatry* 1963;9:324-33.
- Buceta JM. Intervención psicológica en el entrenamiento deportivo: estrategias para optimizar el funcionamiento de jugadores de baloncesto en sesiones de ensayo repetitivo. *Revista de Psicología del Deporte* 1999;8(1):39-52.
- Buceta JM. *Psicología del entrenamiento deportivo*. Dykinson, 1998.
- Buceta JM. Aplicación de un procedimiento abreviado de relajación progresiva en dos casos de ansiedad generalizada. *Psiquis* 1987;8:47-55.
- Caballo V. *Manual de técnicas de terapia y modificación de conducta*. Madrid, Siglo XXI, 1991.
- Cautela JR, Wisocki PA. The thoughtstopping procedure: Description, applications, and learning theory interpretations. *Psychological Record* 1977;1:255-64.
- Ellis A. *Reason and emotion in psychotherapy*. Secaucus Lyle Stuart, 1962.
- Fernández-Ballesteros R. *Introducción a la evaluación psicológica*. Pirámide, 1992.
- Gimeno F, Ezquerro M. Intervención psicológica en un caso de evitación interoceptiva en el deporte. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica* 2006;11(2):99-106.
- Gimeno F. *Entrenando a padres y madres. Claves para una gestión eficaz de la relación con los padres y madres de jóvenes deportistas: guía de habilidades sociales para el entrenador*. Mira Editores, Gobierno de Aragón, 2003a.
- Gimeno F. Descripción y evaluación preliminar de un programa de habilidades sociales y de solución de problemas con padres y entrenadores en el deporte infantil y juvenil. *Revista de*

- Psicología del Deporte* 2003b;12(1):67-79.
- Heil J. *Psychology of sport injury*. Human Kinetics, 1993.
- Holliday B, Burton D, Sun G. et al. Building the better mental training mousetrap: Is periodization a more systematic approach to promoting performance excellence? *Journal of Applied Sport Psychology* 2008;20(2):199-219.
- Ivleva L, Orlick T. Mental links to enhanced healing: an exploratory study. *The Sport Psychologist* 1991;5(1):2540.
- Jacobson E. *Progressive relaxation*. University of Chicago Press, 1938.
- Kroll W. *Graduate study and research in physical education*. Human Kinetics, 1982.
- Martens R. *Coaches guide to sport psychology*. Human Kinetics, 1987.
- McCaffrey N, Orlick T. Mental factors related to excellence among top professional golfers. *International Journal of Sport Psychology* 1989;20(4):256-78.
- Meichenbaum D, Goodman J. The developmental control of operant motor responding by verbal operants. *Journal of Experimental Child Psychology* 1969;7(3):553-65.
- Meyers AW, Schleser R. A cognitive behavioral intervention for improving basketball performance. *Journal of Sport Psychology* 1980;2:69-73.
- Orlick T, Partington J. Mental links to excellence. *The Sport Psychologist* 1988;2:105-30.
- Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. Espasa Calpe, 1992.
- Schultz JH. *El entrenamiento autógeno*. Científico Médica, 1959.
- Segura M, Sánchez P, Barbado P. *Análisis funcional de la conducta: Un modelo explicativo*. Universidad de Granada, 1995.
- Weinberg RS, Williams JM. Integrating and implementing a psychological skills training program. En: Williams JM. *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*. Mayfield, 2006.
- Weinberg R, Gould D. *Fundamentos de psicología del deporte y el ejercicio físico*. Ariel, 1996.
- Williams JM, Roepke N. Psychology of injury and injury rehabilitation. En: Singer RN, Murphey M, Tennant LK. *Handbook of research on sport psychology*. Macmillan Publishing Company, 1993.

capítulo 8

Planificación del proceso de entrenamiento

El capítulo 8 integra los conocimientos previos enseñando a distribuir durante una temporada el mapa conceptual de los factores de rendimiento de las distintas modalidades deportivas según los distintos niveles de entrenamiento. Para ello, en el apartado 1, *Factores determinantes de la planificación*, se analiza la influencia de los tres principales factores que condicionan la planificación: la importancia del correcto análisis de los factores de rendimiento, el calendario de competición y el nivel de adaptación del deportista. En el apartado 2, *Estructuras de la planificación*, se divide la temporada de competición en unidades de planificación más pequeñas, destacando sus características, objetivos y adecuación a los dos sistemas de planificación más utilizados, el sistema convencional y el contemporáneo. El apartado 3, *Planificación para un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales*, muestra ejemplos de planificación para las distintas familias de deportes cuando el objetivo es lograr un elevado nivel de rendimiento en competiciones puntuales. En el apartado 4, *Planificación para un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada*, se resaltan los aspectos más relevantes a considerar cuando el objetivo es mantener un elevado nivel de rendimiento durante largos períodos de competición.

1

Factores determinantes de la planificación

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender que el correcto análisis de los factores de rendimiento que determinan los distintos niveles de entrenamiento de una modalidad deportiva es el referente básico de la planificación del deportista.
- Comprender que el calendario de competición determina el sistema de planificación más idóneo, y la duración y secuenciación de las distintas unidades de la planificación.
- Comprender que deportistas con distinto nivel de adaptación requieren diferentes modelos de aplicación del estímulo de entrenamiento, y, por tanto, diferentes sistemas de planificación.

Índice:

1.1. Factores de rendimiento y niveles de entrenamiento

1.2. Calendario de competición

1.3. Nivel del deportista

Síntesis

Cuestionario de asimilación

El desarrollo en el tiempo de los factores que determinan los distintos niveles de entrenamiento de una determinada modalidad deportiva depende de numerosas variables. Estas variables justifican la utilización de distintos sistemas de planificación independientemente de que la aplicación de uno u otro sistema carezca de evidencia científica. En este apartado se analizan los tres principales factores que determinan la planificación: el mapa conceptual de los factores de rendimiento, el calendario del deportista y el nivel de adaptación del deportista.

1.1. Factores de rendimiento y niveles de entrenamiento

La **planificación del proceso de entrenamiento** persigue optimizar el rendimiento del deportista de acuerdo con el desarrollo de todos los factores asociados al rendimiento de una modalidad deportiva. En consecuencia, el análisis de los **factores de rendimiento específicos** de la modalidad deportiva es el primer referente de la planificación del proceso de entrenamiento. Esto implica que todos los factores que se han considerado determinantes del rendimiento de una modalidad deportiva y que pueden ser objeto de adaptación mediante el entrenamiento deben estar incluidos en el sistema de planificación. Obviamente, si un factor no se ha considerado determinante para el rendimiento de una modalidad deportiva no debe ser entrenado, y en consecuencia no debe incluirse en el sistema de planificación. Un análisis incorrecto de los factores de rendimiento específicos de una modalidad deportiva determina un error que se arrastra durante todo el proceso de entrenamiento, bien introduciendo métodos de entrenamiento que inciden en el desarrollo de un factor o factores no determinantes del rendimiento, bien no utilizando métodos que serían apropiados para optimizar el rendimiento. Únicamente mediante un nuevo análisis de reflexión sobre los factores de rendimiento específicos de la modalidad deportiva sería posible subsanar este error.

Si se han establecido correctamente los factores de rendimiento específicos de una modalidad deportiva, el siguiente análisis previo a la estructuración

del proceso de entrenamiento será determinar los **factores de rendimiento básicos** que inciden en un mayor desarrollo de los factores de rendimiento específicos. Como se ha descrito en el capítulo 2 y posteriormente se ha desarrollado en los distintos capítulos de este manual, el desarrollo de los factores de rendimiento básicos, aunque no tiene por qué asociarse a una mejora directa del rendimiento, permite un mayor desarrollo de los factores de rendimiento específicos y, por tanto, una mayor optimización del rendimiento. Se requiere, pues, definir los factores de rendimiento básicos de cada uno de los factores de rendimiento específicos de la modalidad deportiva, lo que finalmente determina los distintos **niveles de entrenamiento** (véanse las figuras 2.40 y 2.41). El lector puede consultar los capítulos correspondientes en los que se han establecido los distintos niveles de entrenamiento para las manifestaciones de fuerza, resistencia y movilidad y para los factores motores e informacionales. Igualmente puede realizar un análisis específico en los distintos ejemplos de planificación propuestos en este capítulo para determinadas modalidades deportivas. Una vez definidos los factores de rendimiento específicos y los factores de rendimiento básicos, se dispone del **mapa conceptual de los objetivos de entrenamiento** de la modalidad deportiva. Los distintos sistemas de planificación únicamente determinan la secuencia y distribución en el tiempo en que se debe incidir en el desarrollo de los distintos factores de rendimiento específicos y básicos para alcanzar la mayor optimización del rendimiento en competición.

1.2. Calendario de competición

El análisis de los factores de rendimiento específicos y de los factores de rendimiento básicos y su distribución en función de los distintos niveles de entrenamiento es el referente para conocer qué debemos entrenar en una determinada modalidad deportiva. Establecer el **calendario de competición** de un deportista en la temporada resaltando las principales competiciones es el principal referente para determinar **qué debemos entrenar en cada momento** y, en consecuencia, el referente de cualquier sistema o modelo de planificación. El sistema de planificación debe tener por objetivo que el deportista alcance su mayor **nivel de prestación** los días en los que están programadas las **competiciones principales**. Para ello, es requisito indispensable el desarrollo secuencial de los distintos **niveles de entrenamiento**. Atendiendo al principio de especificidad de la adaptación, en

las semanas previas a cada competición principal se debe incidir prioritariamente en el desarrollo y la integración de los factores de rendimiento específicos en las mismas condiciones en que se presentan en el contexto de competición, lo que define el nivel de entrenamiento específico-competitivo (véase la figura 2.42). Previamente al nivel de entrenamiento específico-competitivo, tal y como se ha establecido repetidamente, es necesario incidir en los restantes niveles de entrenamiento con el fin de optimizar en mayor medida cada uno de los factores de rendimiento específicos de la modalidad deportiva (véase la figura 2.42). La duración y la distribución porcentual del tiempo de trabajo dedicado a cada uno de los niveles de entrenamiento son dependientes, como veremos posteriormente, del sistema de planificación utilizado. Sin embargo, nuevamente el calendario de competición es en muchas ocasiones el referente que determina la duración que debe tener el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento. El calendario de competición en la mayoría de las modalidades deportivas no permite establecer ciclos de entrenamiento completos que aseguren la óptima adaptación mediante un tiempo de trabajo suficiente de cada uno de los niveles de entrenamiento. Esta dificultad para planificar el proceso de entrenamiento de un deportista es creciente debido al incremento progresivo del número de días de competición que caracteriza el calendario de las distintas modalidades deportivas (figura 8.1). Esta dificultad alcanza su máxima expresión en determinados deportes de equipo, deportes de raqueta y deportes de motor caracterizados por competiciones sucesivas durante la mayor parte de la temporada. Para atender a las diferencias que existen en el calendario de competición entre las distintas modalidades deportivas, se diferencia en este capítulo entre la planificación del proceso de entrenamiento para modalidades deportivas que requieren **momentos puntuales de prestación** y la planificación para las modalidades deportivas que requieren un **óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada**.

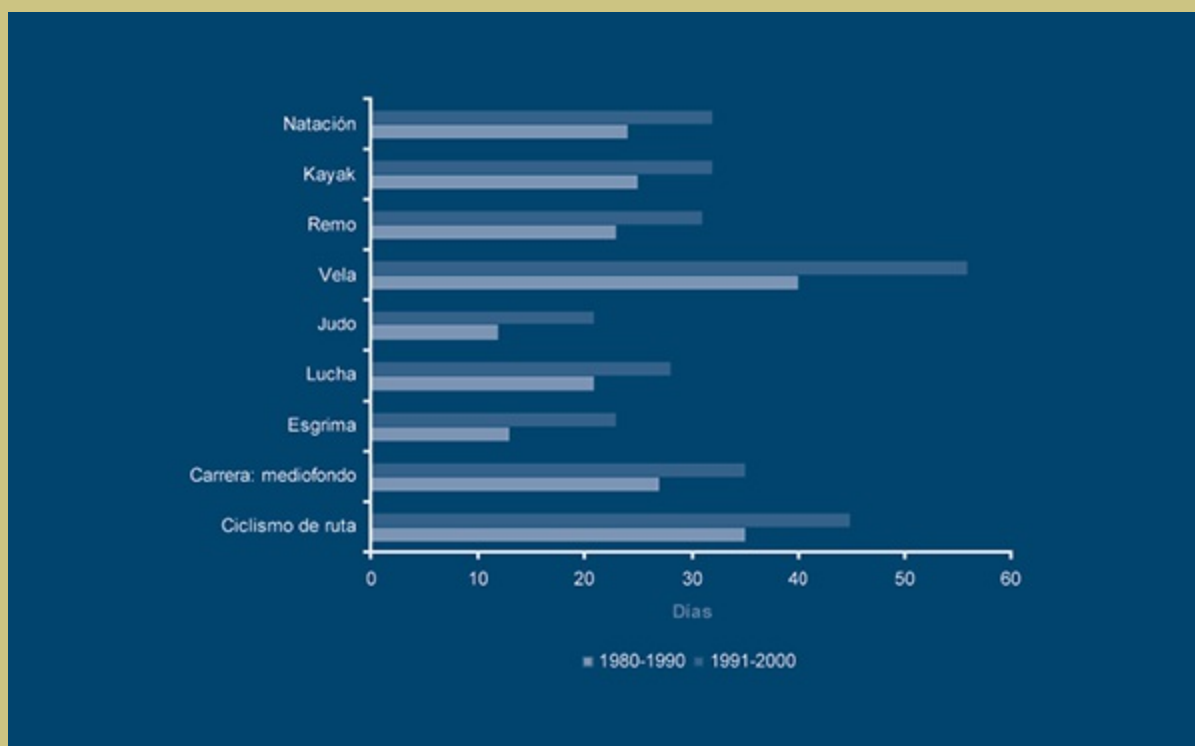


FIGURA 8.1. Evolución del número total de días de competición por año en diferentes modalidades deportivas. En todos los deportes representados se ha incrementado significativamente el número de días de competición. Esta evolución afecta la distribución de los factores de rendimiento en los sistemas de planificación.

Adaptado de Issurin VB. Block periodization concept applied to planning sport training. // Jornada de actualización ARD. COE, 2006.

1.3. Nivel del deportista

Independientemente del nivel del deportista, un principio básico del proceso de entrenamiento es proporcionar en cada momento el **mínimo estímulo que induzca adaptación**. Este principio se ha demostrado para el desarrollo específico de cada uno de los factores de rendimiento. Así, en deportistas con una reserva actual de adaptación baja, la aplicación de un estímulo de entrenamiento caracterizado por un volumen y una intensidad bajos permite inducir una respuesta de adaptación óptima, mientras que deportistas con una reserva actual de adaptación próxima a su reserva total requieren un estímulo de entrenamiento más exigente.

La diferenciación del proceso de entrenamiento en función del **nivel del**

deportista está determinada por la exigencia del estímulo de entrenamiento y por la distribución del estímulo en las distintas estructuras de la planificación. Este aspecto se ha definido con concreción en el capítulo 2. Así, en deportistas con **baja reserva actual** de adaptación es aplicable un sistema de distribución de **cargas regulares** asociadas a un desarrollo simultáneo de varios objetivos de entrenamiento (véase la figura 2.22) mediante sesiones distribuidas con el suficiente período de recuperación para permitir una supercompensación positiva de los sistemas implicados (véase la figura 2.6). En deportistas con **elevada reserva actual** de adaptación se requiere, para intensificar la globalidad del estímulo de entrenamiento, la aplicación de **cargas concentradas** que inciden en cada período exclusivamente en pocos objetivos de entrenamiento (véase la figura 2.23), con fases de recuperación incompleta que induzcan una supercompensación de efecto acumulado (véase la figura 2.24). Como se concreta después, la aplicación de cargas regulares y concentradas es un referente de diferenciación de los distintos sistemas o modelos de planificación.

Síntesis

- Muchos factores determinan la planificación del proceso de entrenamiento de cada deportista y cada modalidad deportiva. Entre ellos, los factores más determinantes son el mapa conceptual de los factores de rendimiento de la modalidad deportiva, el calendario de competición y el nivel del deportista.
- El mapa conceptual de los factores de rendimiento específicos y básicos de cada modalidad deportiva distribuidos en sus correspondientes niveles de entrenamiento determina todo lo que va a ser o no entrenado, y por consiguiente, su correcto análisis y nivel de concreción son el principal referente de la planificación. Un análisis incorrecto obligatoriamente limita la optimización del rendimiento.
- El calendario de competición determina los momentos en que el deportista debe alcanzar su mayor nivel de prestación. Por ello, las fechas de las competiciones principales son el referente de la secuenciación de los distintos niveles de entrenamiento en la temporada. La gran variedad de sistemas de competición que existen entre las distintas modalidades deportivas determina también la posibilidad de

utilizar o no determinados sistemas de planificación.

- El nivel del deportista, especialmente en cuanto a su reserva actual de adaptación, determina diferentes modelos de progresión en la exigencia del estímulo de entrenamiento. Deportistas con reserva actual baja requieren sistemas de planificación basados en una distribución de cargas regulares asociadas al desarrollo simultáneo de varios objetivos de entrenamiento. Deportistas con reserva actual elevada requieren sistemas de planificación basados en una concentración de las cargas asociadas al desarrollo sucesivo de objetivos de entrenamiento concretos.

Cuestionario de asimilación

1. Señala la relación entre los factores de rendimiento y los niveles de entrenamiento en las modalidades de resistencia.
2. Define la relación entre los factores de rendimiento y los niveles de entrenamiento en las modalidades de fuerza explosiva.
3. Explica la relación entre los factores de rendimiento y los niveles de entrenamiento en las modalidades de resistencia a la fuerza.
4. Establece la secuenciación para obtener un elevado nivel de prestación de los métodos de entrenamiento en las modalidades de resistencia.
5. Señala la secuenciación para obtener un elevado nivel de prestación de los métodos de entrenamiento en las modalidades de fuerza explosiva.
6. Establece la secuenciación para obtener un elevado nivel de prestación de los niveles de concentración de lactato en las modalidades de fuerza resistencia.
7. Explica la secuenciación para obtener un elevado nivel de prestación de los niveles de entrenamiento asociados a los factores motores e informacionales.
8. Señala la secuenciación para obtener un elevado nivel de prestación de los niveles de entrenamiento asociados a la movilidad articular.
9. Establece la secuenciación entre el trabajo con sobrecargas y el trabajo específico en las modalidades de fuerza explosiva para obtener

un óptimo estado de prestación.

- 10.** Considerando que conoces el calendario de competición de tu deportista, ¿sobre qué momento de la temporada comenzarás a definir las diferentes estructuras que determinan la planificación?
- 11.** Define la relación entre la reserva actual del deportista y las características del entrenamiento que van a determinar la planificación.

2

Estructuras de la planificación

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer las distintas unidades de la planificación.
- Conocer la clasificación, duración, estructura y objetivos de trabajo de las distintas unidades de planificación, así como sus diferencias y adecuación a un modelo de planificación convencional y contemporáneo.

Índice

2.1. Sesión

2.2. Microciclo

2.3. Mesociclo

2.4. Macrociclo y temporada

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Las competencias principales son la referencia que determina la estructura de la planificación independientemente del sistema o modelo de planificación seleccionado. Como las diferentes instituciones que organizan el calendario de competición para las distintas modalidades deportivas establecen cada año competencias que pueden ser objetivo de la preparación de deportistas de distinto nivel (competiciones regionales, nacionales, europeas, mundiales y olímpicas), la **temporada**, que incluye todas las semanas del año, es tradicionalmente la **unidad de planificación de referencia**. Aunque con diferencias en la terminología en función de los distintos modelos de planificación e incluso con diferencias en la propia estructura de planificación, la temporada se divide tradicionalmente en **unidades de planificación** que comprenden períodos de tiempo progresivamente más pequeños. Así, la temporada se divide en uno o varios **macrociclos**, cada macrociclo se divide en varios **mesociclos**, cada mesociclo en varios **microciclos** y cada microciclo en varias **sesiones** de entrenamiento (Issurin, 2006; Navarro, 2003). Puesto que los Juegos Olímpicos, competición referente para muchas modalidades deportivas, se celebran cada cuatro años, algunos deportistas de máximo nivel tienen como referente de planificación una estructura plurianual de cuatro años. El objetivo de este apartado es definir las principales características de las distintas unidades de planificación de una temporada.

2.1. Sesión

La **sesión** es la unidad más pequeña de planificación. Implica tradicionalmente un trabajo continuado de uno o varios objetivos de entrenamiento con el fin de inducir una ruptura de la homeostasis que conduzca después de un período de recuperación a la supercompensación de los sistemas implicados. Sin embargo, el objetivo de la sesión de entrenamiento no es siempre inducir una ruptura de la homeostasis. Por ello, algunos autores clasifican las sesiones en función del **objetivo de trabajo** y las tareas desarrolladas (Platonov, 2005):

- Sesión de aprendizaje: aprendizaje y perfeccionamiento motor e

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

informativa.

- Sesión de entrenamiento: desarrollo de una o varias capacidades físicas.
- Sesión de aprendizaje-entrenamiento: combinación de desarrollo motor e informativo con el desarrollo de capacidades físicas.
- Sesión de recuperación: aplicación de medidas profilácticas.
- Sesión de modelación de la competición.
- Sesión de valoración: utilización de tareas para determinar el estado de preparación del deportista y reorientar el entrenamiento.

Desde una perspectiva práctica, esta clasificación puede concretarse más para establecer estadísticas en el marco del diario de entrenamiento, diferenciando por ejemplo entre sesiones orientadas al desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento y sesiones orientadas a objetivos concretos de entrenamiento de una determinada modalidad deportiva, por ejemplo, sesión de fuerza explosiva con sobrecargas, sesión de fuerza explosiva con ejercicios específicos, etc.

Las sesiones de entrenamiento también son habitualmente clasificadas en función de la **magnitud del estímulo** de entrenamiento. Sirva como referencia la clasificación divulgada por Navarro (1994) y Zatsiorsky (1995) (véase la figura 2.15), en la que se diferencia entre sesiones de recuperación, sesiones de mantenimiento y sesiones de desarrollo. Únicamente se consideran sesiones de desarrollo aquellas en las que el estímulo de entrenamiento es de suficiente magnitud para inducir adaptación en el deportista. Las sesiones de desarrollo son a su vez clasificadas en función del nivel de exigencia del estímulo de entrenamiento en sesiones de desarrollo importante, grande y extremo. En las sesiones de mantenimiento, el nivel del estímulo de entrenamiento es relativamente bajo para facilitar la supercompensación de las sesiones de desarrollo efectuadas previamente. Las sesiones de recuperación se caracterizan por estímulos específicos de la modalidad deportiva e inespecíficos que facilitan la recuperación entre las sesiones de entrenamiento (véase el capítulo 2). Esta clasificación es de interés para cuantificar las diferencias en el nivel de exigencia del estímulo de entrenamiento entre diferentes unidades de planificación: microciclos, mesociclos y macrociclos.

También es interesante la clasificación de la sesión de entrenamiento que aporta Navarro (2003) en función del **número de objetivos de entrenamiento**, lo que el autor define como la orientación de los contenidos

de entrenamiento: selectiva para definir las sesiones con un único objetivo prioritario de entrenamiento; compleja para definir las sesiones con varios objetivos de entrenamiento, y suplementaria para definir las sesiones dirigidas hacia un objetivo auxiliar como la compensación muscular o sesiones de recuperación. Las sesiones complejas y selectivas caracterizan respectivamente los programas de entrenamiento asociados a la distribución de cargas regulares y concentradas.

La mayoría de las sesiones de entrenamiento están estructuradas en tres **fases** diferenciadas: introducción o **calentamiento**, **parte principal** y **conclusión**.

El objetivo del **calentamiento** es preparar fisiológica y psicológicamente al deportista para el esfuerzo de la parte principal de la sesión. Además, las adaptaciones fisiológicas observadas en el calentamiento (tabla 8.1) justifican su efecto para incrementar el rendimiento de las acciones ejecutadas en la parte principal de la sesión o competición, así como su efecto para la prevención de lesiones.

TABLA 8.1. Adaptaciones fisiológicas del calentamiento

- Incremento del aporte de sangre y O₂ a los músculos
- Incremento de la circulación y reducción de la resistencia vascular
- Aumento de la liberación de O₂ proveniente de mioglobina
- Incremento de la eficiencia contráctil muscular
- Reducción de la latencia en la respuesta muscular y del tiempo de reacción
- Aumento de la velocidad de conducción nerviosa
- Aumento de la sensibilidad de los receptores nerviosos
- Reducción de la actividad de fibras alfa y aumento del umbral de activación del reflejo de estiramiento
- Reducción de la rigidez muscular y aumento de la movilidad articular
- Incremento de la relajación y la concentración

Adaptado de Bahr R. Principles of injury prevention. En: Brukner P, Khan K. Clinical sports medicine. Mc Graw Hill, 2007:78-101.

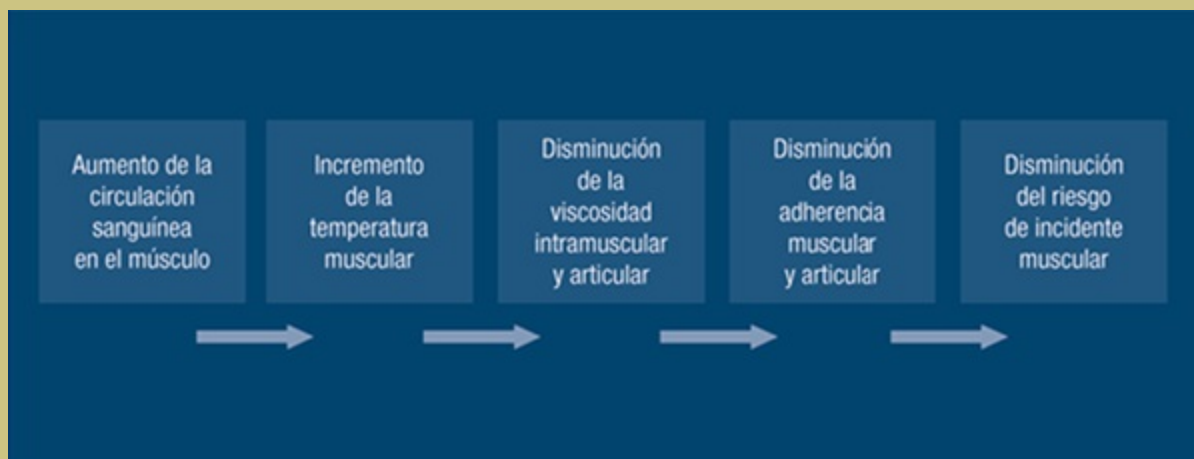


FIGURA 8.2. Relación entre el incremento de la temperatura muscular inducido por el calentamiento y la prevención de lesiones. Enumeración de los factores fisiológicos que justifican que el calentamiento pueda ser una estrategia efectiva para la prevención de lesiones.

Adaptado de Cometti G et al. SDS/Rivista di Cultura Sportiva 2005;64:17-27.

Aunque teóricamente existe una relación justificada entre los efectos fisiológicos inducidos por el calentamiento y la prevención de lesiones (figura 8.2), tal y como se concluye en el apartado 2 del capítulo 9, las limitaciones en el diseño de los estudios no permiten obtener conclusiones definitivas respecto a la eficacia del calentamiento en la prevención de lesiones. Independientemente de la evidencia científica no hay razón alguna para desaconsejar la realización del calentamiento desde esta perspectiva.

En la misma línea, numerosos estudios están focalizando su atención en la efectividad de los estiramientos estáticos y dinámicos para prevenir las lesiones y mejorar el rendimiento deportivo. En la actualidad, la evidencia científica no es concluyente, pero no existen tampoco argumentos claros para dejar de realizar los ejercicios de estiramientos tradicionalmente incluidos en el calentamiento.

El calentamiento se estructura habitualmente en una parte general y una parte específica.

El **calentamiento general** tiene como objetivo principal la transición de la situación de reposo a la de esfuerzo para preparar al sujeto tanto fisiológica como psicológicamente para el trabajo posterior. Con este fin es habitual comenzar con un trabajo continuo a baja intensidad (zona de eficiencia aeróbica) que ejercite los principales grupos musculares utilizados en la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

modalidad deportiva. Para reducir el riesgo de lesión durante el esfuerzo continuo de baja intensidad, se ha sugerido realizar previamente ejercicios de movilidad. Desde nuestra perspectiva, los ejercicios de movilidad deben ejecutarse después del esfuerzo continuo. El riesgo de lesión durante un esfuerzo de intensidad baja es prácticamente inexistente, mientras que la ejecución de ejercicios de movilidad sin aumentar previamente la temperatura del músculo puede incrementar el riesgo de lesión. No obstante, es común realizar ejercicios de movilidad dinámica de forma simultánea al trabajo continuo en los sistemas articulares que el propio movimiento permite, por ejemplo, ejercicios del tren superior cuando se realiza carrera continua. De hecho, el propio esfuerzo continuo es simultáneamente un trabajo de movilidad dinámica para los sistemas articulares implicados, siendo en ocasiones la amplitud del movimiento importante en determinadas modalidades deportivas como natación y remo. En cualquier caso será necesario, una vez realizado el trabajo de eficiencia aeróbica, realizar ejercicios de movilidad dinámica en los sistemas articulares y/o amplitudes del movimiento que no se han podido ejecutar de forma simultánea al esfuerzo continuo, como, por ejemplo, la movilidad de tobillos, rodillas y caderas tras un trabajo de carrera continua.

Previamente al comienzo del trabajo más intenso del calentamiento específico es fundamental hacer ejercicios de movilidad estática para los principales grupos musculares de trabajo. La movilidad estática se ha de realizar en un grado de elongación ligeramente superior al de los movimientos que se van a desarrollar en el calentamiento específico como mecanismo de reserva en la prevención de lesiones.

Es un error común realizar los ejercicios de movilidad estática en el suelo, pues esto implica una duración y relajación mayores, lo que puede provocar una pérdida de los efectos del calentamiento general y un incremento del riesgo de lesión. Además, debemos considerar que el objetivo de estos ejercicios es exclusivamente la preparación para el trabajo posterior y no un incremento de la movilidad, por lo que el número de ejercicios, el grado de elongación y la duración deben ajustarse a este objetivo.

El **calentamiento específico** debe ser una simulación progresiva del contenido de la parte principal de la sesión, por lo que sus ejercicios han de considerar su motricidad y metabolismo. Hay que prestar especial atención a la progresión de la intensidad del esfuerzo, especialmente para la prevención de lesiones. Recordemos que si, por ejemplo, en el calentamiento general

hemos realizado carrera continua, la velocidad de desplazamiento en zona de eficiencia aeróbica puede estar comprendida entre 8 y 18 km·h⁻¹ según el nivel del deportista, mientras que, como es habitual en numerosas modalidades deportivas, en la parte principal se realizan desplazamientos a máxima intensidad (2430 km·h⁻¹). Este análisis justifica la ejecución de ejercicios específicos a intensidad progresivamente creciente.

En esta parte del calentamiento es habitual la utilización de juegos como medio de trabajo, por lo que debemos de ser muy prudentes en la valoración de su intensidad de esfuerzo y, en su caso, situarlos al final del calentamiento específico. Otro aspecto fundamental es la realización de ejercicios de movilidad antes y después de hacer cualquier trabajo de contracción muscular. Como ejemplo, mostramos la estructura y los contenidos del calentamiento requerido para realizar un trabajo de modelación de la competición en un deporte de equipo (tabla 8.2).

Después del calentamiento no debe transcurrir excesivo tiempo hasta el comienzo de la parte principal de la sesión o la competición. Para ello, hemos de tener previamente colocado todo el material de trabajo necesario, o comenzar con ejercicios que no requieran especial preparación. Igualmente se recomienda que la conversación con los deportistas relativa a la sesión o a cualquier aspecto se efectúe antes del inicio del calentamiento; lógicamente, esta consideración es trasladable a los calentamientos previos a la competición. Estas premisas son igualmente aplicables en la parte principal de la sesión. Si se produce una interrupción importante del trabajo, debemos realizar nuevamente un breve calentamiento. Asimismo, si en la parte principal de la sesión vamos a realizar contenidos muy diferentes como trabajo de fuerza y de resistencia o trabajo sin y con balón, se requiere un calentamiento específico previo al nuevo trabajo. Otras directrices generales a considerar respecto al calentamiento se muestran en la tabla 8.3.

TABLA 8.2. Estructura y contenidos del calentamiento previo a un trabajo de modelación de la competición en un deporte de equipo

- 1 Carrera continua + movilidad dinámica progresiva
- 2 Movilidad dinámica del resto de articulaciones
- 3 Movilidad estática de músculos agonistas-antagonistas
- 4 Progresivos, multisaltos, *skipping*, máxima frecuencia (intensidad progresiva: 70-80-90-100%)
- 5 Motricidad específica del deporte: intensidad progresiva
- 6 Motricidad específica del deporte con balón: intensidad progresiva
- 7 Partido o juego en espacio reducido

Original del autor.

TABLA 8.3. Directrices básicas a considerar respecto al calentamiento

Nunca realizar los estiramientos sentado
Nunca desarrollar el máximo grado de elongación articular
Estiramientos agonista-antagonista después de cada repetición
Que no transcurran más de 5 min hasta el comienzo de la actividad
Realizar minicalentamiento antes de los segundos tiempos
Realizar minicalentamiento tras una interrupción de larga duración
Realizar calentamiento específico si hay cambio de contenido

Original del autor.

Lógicamente, la estructura y los contenidos del calentamiento son dependientes del objetivo de trabajo de la parte principal de la sesión. Por ejemplo, si el objetivo de la sesión es el desarrollo de la resistencia aeróbica mediante un trabajo continuo en las zonas de eficiencia aeróbica y eficiencia aeróbica-anaeróbica, un comienzo del esfuerzo progresivo será suficiente para cumplir los fines del calentamiento.

Si el objetivo de la sesión es el desarrollo de la fuerza mediante la utilización de pesas o máquinas, el calentamiento debe realizarse ejecutando el mismo ejercicio de trabajo mediante un incremento progresivo de la carga de forma semejante a lo explicado para la realización de un test de 1RM. La misma secuencia se realizará en toda la sesión siempre que se cambien completamente los grupos musculares implicados.

Exceptuando las sesiones suplementarias, la **parte principal** de la sesión tiene como objetivo el desarrollo de los factores de rendimiento específicos y básicos de la modalidad deportiva. Los objetivos y contenidos específicos de cada sesión dependen en consecuencia de su ubicación en las unidades de planificación más complejas: microciclo, mesociclo y macrociclo. La programación de la sesión debe ser muy concisa, definiendo de forma precisa

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

los componentes de entrenamiento de los métodos de entrenamiento a utilizar. Sin embargo, su aplicación debe ser flexible en función de los numerosos condicionantes definidos en cada apartado para los distintos métodos de entrenamiento. Es interesante la **secuenciación de los contenidos** en función de los distintos objetivos planteados para una misma sesión de entrenamiento. La tendencia actual es distribuir los objetivos de trabajo de un día en varias sesiones de entrenamiento de corta duración. Pero las características de algunas modalidades deportivas y de algunos métodos de entrenamiento, así como el nivel de profesionalización y la reserva actual de los deportistas, determinan sesiones de entrenamiento con diferentes objetivos. Estas sesiones complejas requieren unas directrices metodológicas para la secuenciación de los objetivos de trabajo.

Los estiramientos de los músculos agonistas y antagonistas deben incluirse en toda la sesión de entrenamiento, específicamente antes y después de cada repetición de un ejercicio que requiera un elevado nivel de exigencia en la manifestación de fuerza, por ejemplo en las series de un entrenamiento con sobrecargas y en las repeticiones de un entrenamiento para el desarrollo de la fuerza explosiva y la resistencia a la fuerza explosiva. Estos estiramientos no deben confundirse con los ejercicios realizados para el desarrollo de la movilidad articular.

En la medida de lo posible el desarrollo de la movilidad articular debe planificarse en sesiones de entrenamiento específicas. Este aspecto se justifica debido a que un trabajo específico de movilidad articular disminuye la eficacia de la aplicación de fuerza en los ejercicios posteriores, e igualmente son conocidas las limitaciones del desarrollo de la movilidad articular en estado de fatiga (véase el capítulo 5).

Todos aquellos factores que dependen para su optimización del sistema nervioso deben desarrollarse al comienzo de la parte principal de la sesión de entrenamiento con la menor fatiga posible. Éste es el caso de la optimización motriz e informacional y de la optimización de la manifestación de fuerza explosiva, independientemente de que se utilicen métodos con sobrecargas o métodos específicos. Sin embargo, como numerosas modalidades deportivas precisan un alto nivel de exigencia motriz e informacional en estado de fatiga, hay que plantear sesiones de entrenamiento con el objetivo de estabilizar estos factores en situación de fatiga incluyendo su desarrollo en toda la sesión de entrenamiento mediante métodos que modelen la competición, y en la parte final de la sesión mediante la ejecución de

ejercicios después del trabajo asociado al desarrollo de las distintas manifestaciones de fuerza y/o resistencia.

Con el fin de desarrollar la manifestación de fuerza explosiva, actualmente es habitual incluir en la misma sesión de entrenamiento la ejecución de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos. Como se ha indicado en su apartado correspondiente, este planteamiento está basado, por una parte, en la transferencia de la manifestación de fuerza aplicada con cargas superiores a la fuerza manifestada con cargas inferiores en las acciones motrices específicas y, por otra parte, a los efectos de la postactivación neural. Este trabajo puede plantearse simultáneamente mediante la alternancia de las series ejecutadas con sobrecargas y con ejercicios específicos, o sucesivamente haciendo los ejercicios con sobrecargas y posteriormente los ejercicios específicos.

Con independencia de la ejecución simultánea o sucesiva hay que considerar dos aspectos: ejecutar el ejercicio con sobrecarga previamente al ejercicio específico y establecer un tiempo de recuperación de 5-10 min entre el ejercicio con sobrecarga y el ejercicio específico para maximizar los efectos de la postactivación neural.

Desde nuestra perspectiva, el desarrollo de los distintos factores de rendimiento que están más directamente relacionados con el metabolismo aeróbico o anaeróbico láctico deben plantearse en diferentes sesiones de entrenamiento, porque ambos objetivos de trabajo determinan un nivel de fatiga elevado.

En el caso de incluir en la misma sesión de entrenamiento ambos objetivos, los métodos de entrenamiento que requieren una mayor participación del metabolismo anaeróbico y en consecuencia una mayor aplicación de fuerza deben preceder a los métodos de entrenamiento más asociados al metabolismo aeróbico.

En caso contrario, el nivel de fatiga asociado a la depleción de los depósitos de glucógeno y al sistema nervioso limitaría la intensidad en los métodos de entrenamiento orientados al desarrollo del metabolismo anaeróbico. Del mismo modo hay que resaltar que, si el método de entrenamiento practicado para desarrollar el metabolismo anaeróbico tiene una duración considerable, el nivel de fatiga va a limitar el rendimiento en los métodos de entrenamiento orientados al desarrollo del metabolismo aeróbico, especialmente para las intensidades próximas a la VAM.

Es cierto que la ejecución posterior al desarrollo del metabolismo

anaeróbico de un método continuo de corta duración a una intensidad situada en la zona de eficiencia aeróbica permite acelerar el metabolismo del ácido láctico, pero este tipo de planteamiento debe considerarse un método de regeneración fisiológica y psicológica correspondiente a la parte de conclusión de la sesión de entrenamiento y no como la aplicación de métodos para desarrollar sucesivamente el metabolismo aeróbico y el anaeróbico.

El objetivo principal de la **parte de conclusión** de la sesión es la transición progresiva de la situación de esfuerzo a la de reposo con el fin de regularizar fisiológica y psicológicamente al deportista. Los **contenidos de trabajo** son variados en función de las características de la parte principal de la sesión y de las preferencias de los deportistas, incluyendo esfuerzos continuos de corta duración y baja intensidad, estiramientos, juegos de baja intensidad, actividades de relajación y otros medios asociados a la recuperación como el masaje, la sauna, etc. Aunque la evidencia científica de la utilización de estos contenidos sobre la recuperación del deportista y el rendimiento en sesiones posteriores es escasa (véase el apartado 3 del capítulo 2), se recomienda su utilización considerando la necesidad de una regulación progresiva de los distintos procesos fisiológicos y especialmente teniendo en cuenta la sensación de bienestar percibida por los deportistas de acuerdo con los efectos de relajación y la realización de actividades más atractivas que las ejecutadas en la parte principal de la sesión. La parte de conclusión de la sesión también debe incluir la ingesta de hidratos de carbono y la hidratación del deportista, así como una exposición participativa sobre los contenidos y el desarrollo de la sesión de entrenamiento.

TABLA 8.4. Magnitud del estímulo de entrenamiento de los distintos microciclos

<i>Tipo de microciclo</i>	<i>Magnitud del estímulo de entrenamiento</i>
Ajuste	Volumen e intensidad promedio/a
Carga	Volumen y/o intensidad elevado/a
Impacto	Volumen y/o intensidad muy elevado/a
Activación	Volumen bajo e intensidad elevada
Competición	Dependiente del tipo de competición
Recuperación	Volumen e intensidad bajo/a

Original del autor.

2.2. Microciclo

El **microciclo** es la unidad de planificación, con una duración aproximada de una semana, que establece la secuenciación adecuada de las sesiones de entrenamiento en función de los objetivos de trabajo y la magnitud del estímulo de entrenamiento. De forma equivalente a lo establecido para la sesión de entrenamiento, los factores a desarrollar en un determinado microciclo son dependientes de su ubicación en las unidades de planificación más complejas: mesociclos y macrociclos.

Los **distintos microciclos** se diferencian prioritariamente por la **magnitud de carga interna** que le supone el estímulo de entrenamiento al deportista. En la tabla 8.4 se muestra la diferenciación de la carga interna asociada al volumen e intensidad de entrenamiento entre los distintos microciclos tradicionalmente establecidos en la literatura (Navarro, 2003; Issurin, 2003).

El microciclo de **ajuste** o de introducción se diseña con el fin de preparar al deportista para un nuevo estado de entrenamiento desde una perspectiva fisiológica, mental y emocional. Es habitual su utilización después de períodos de interrupción del entrenamiento o cuando se va a realizar un cambio sustancial de los contenidos del entrenamiento, como sucede entre los distintos mesociclos que determinan un nuevo nivel de entrenamiento. Supone, por tanto, la búsqueda de una adaptación progresiva en objetivos de entrenamiento que no se han desarrollado durante un tiempo considerable para poder aplicar un estímulo de entrenamiento más exigente en microciclos posteriores.

El microciclo de **carga** debe implicar un estímulo de entrenamiento lo suficientemente importante como para producir adaptaciones en el deportista. Para ello, es necesaria la ejecución de un número suficiente de sesiones de desarrollo. Dado su efecto de adaptación, es el microciclo más frecuente en el proceso de entrenamiento del deportista.

El microciclo de **impacto** debe diseñarse para incidir en el nivel más elevado de carga interna que sea capaz de tolerar el deportista. Implica, por consiguiente, una concentración máxima de sesiones de desarrollo extremas y la ausencia de recuperación completa con el objetivo de inducir al organismo a una posterior supercompensación de efecto acumulado. Debido al elevado nivel de fatiga, su utilización es limitada, siendo de especial aplicación en deportistas con una reserva actual muy elevada en los que niveles de carga interna inferiores no producen un efecto de adaptación suficiente.

El microciclo de **activación** o preparación debe facilitar la supercompensación del deportista inducida por el trabajo previo de microciclos de carga e impacto con el objetivo de alcanzar el máximo nivel de prestación en el momento de la competición o durante la valoración de tests para determinar los efectos del entrenamiento. Los contenidos de las sesiones de entrenamiento deben modelar lo máximo posible la competición. Se debe reducir notablemente el volumen de trabajo con el fin de facilitar la recuperación del deportista y mantener la intensidad de competición para facilitar su nivel de activación. La duración y los contenidos de entrenamiento del microciclo de activación dependen de las características de la modalidad deportiva y de la importancia de la competición. Para las competiciones importantes, este microciclo corresponde realmente por su duración más bien a una estructura de mesociclo en el marco de lo que se conoce como período **“taper”** (véase más adelante).

El microciclo de **competición** se integra en el final del microciclo de activación para la programación de todas las actividades a desarrollar de antes, durante y después de la competición. Aunque los condicionantes son similares para las competiciones de las distintas modalidades deportivas (preparación de material y viajes; alimentación antes, durante y después de la competición; sesiones de calentamiento, activación, concentración, y recuperación; sesiones informativas sobre la actuación a realizar en la competición en función de las características de los rivales, y sesiones informativas de la actuación realizada, etc.), la reglamentación competitiva específica determina microciclos de competición de una duración y características diferenciadas: competiciones en varios días predeterminados (p. ej., una vuelta ciclista), competición individual en varios días cuya duración depende de los resultados obtenidos en competiciones eliminatorias (p. ej., un campeonato del mundo del atletismo, un torneo de tenis), competición en grupo durante varios días cuya duración depende de los resultados obtenidos en competiciones eliminatorias (p. ej., un Campeonato del Mundo de balonmano), competición en varias pruebas en un día (p. ej., esquí alpino, gimnasia deportiva, gimnasia rítmica), competición en una prueba en un día (p. ej., un partido de fútbol, una carrera de maratón), competición eliminatoria en un día (p. ej., taekwondo, judo).

El microciclo de **recuperación** o restablecimiento debe servir para recuperar física y psicológicamente al deportista después de un largo período de entrenamiento intenso y después de las competiciones con alto nivel de

exigencia. Se caracterizan, además de por un descenso notable del volumen y la intensidad de trabajo, por un cambio significativo de los contenidos del entrenamiento. Es el único microciclo en el que los contenidos de trabajo pueden alejarse de los habitualmente asociados a los objetivos de trabajo de la modalidad deportiva, incluyendo, además de los medios auxiliares de recuperación (sauna, masaje, hidroterapia, etc.), actividades placenteras en el medio natural y juegos de baja intensidad.

La **secuenciación de las sesiones en un microciclo** debe considerar la óptima combinación de la magnitud del estímulo de entrenamiento y de los objetivos de trabajo. La estructura de ambos factores depende, además del tipo de microciclo, de otras variables como la ubicación del microciclo en las unidades más complejas de la planificación, el momento de la temporada, los factores de rendimiento y el calendario de competición de la modalidad deportiva, y la reserva actual y el nivel de profesionalización del deportista. En consecuencia, únicamente es posible establecer unas directrices generales para la adecuada estructuración de las sesiones en el microciclo.

En primer término es necesario cuantificar la **carga interna** que supone al deportista cada sesión de entrenamiento, por ejemplo, en función de la escala numérica establecida por Navarro (1994) y Zatsiorsky (1995) (véase la figura 2.15). De esta forma se dispone de un criterio cuantitativo que determina, además del nivel de exigencia de cada sesión, el nivel de carga interna total de cada microciclo, que debe ser el criterio de referencia para diferenciar los distintos tipos de microciclos.

El **tiempo de recuperación** entre las sesiones es dependiente de la magnitud del estímulo de entrenamiento y del objetivo de trabajo desarrollado. Aunque para ambos factores se han establecido criterios de referencia (véanse las tablas 2.2-2.4), como se ha indicado en el apartado 3 del capítulo 2, es necesario considerar también los resultados de distintos indicadores de recuperación del deportista. No obstante, de forma general se puede establecer que, si el objetivo es la continua supercompensación positiva del deportista, después de la aplicación de una sesión de entrenamiento caracterizada por un estímulo de entrenamiento muy elevado debe programarse una sesión con un nivel de exigencia bajo. Así, una sesión de mantenimiento o de recuperación debe suceder a una sesión de desarrollo extrema. En esta línea, varias sesiones de desarrollo importante y/o grande pueden ejecutarse sucesivamente seguidas por una sesión de mantenimiento o recuperación. Estas directrices determinan los tres **modelos de secuenciación**

de la magnitud del estímulo de entrenamiento propuestos por Navarro (1994) (figura 8.3). De acuerdo con el autor, el modelo de dos y tres picos parece más apropiado para inducir un mayor nivel de carga interna y para estimular sucesivamente la supercompensación del deportista. Sin embargo, el diseño de un pico, incluyendo 2-3 sesiones de desarrollo grande y extremas, puede ser apropiado para deportistas con elevada reserva actual con el fin de inducir una supercompensación de efecto acumulado. En las modalidades deportivas caracterizadas durante la mayor parte de la temporada por una o dos competiciones a la semana, la estructura del microciclo tiene unos condicionantes específicos que serán tratados en el apartado 4.

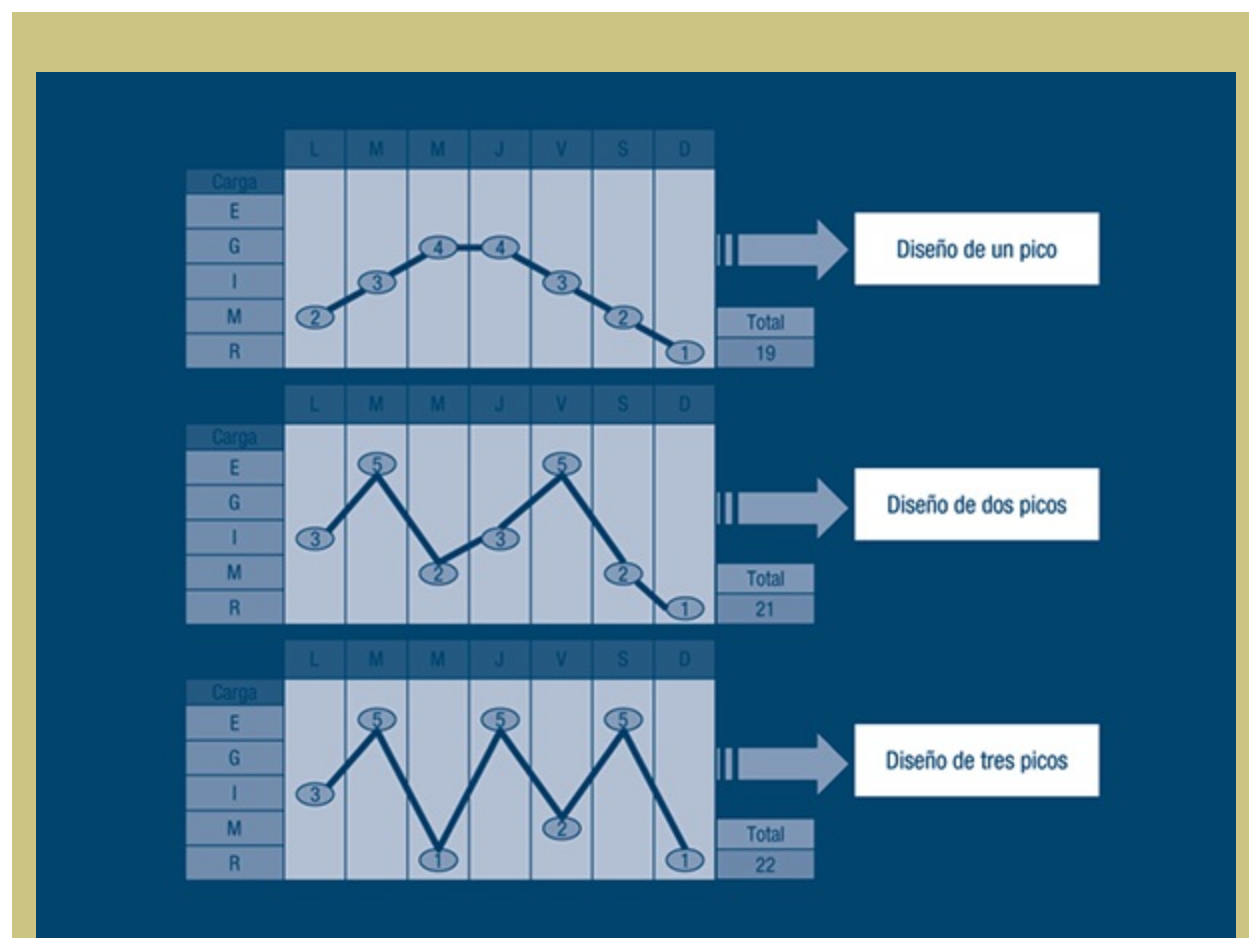


FIGURA 8.3. Modelos de secuenciación de la magnitud del estímulo de entrenamiento de las sesiones en un microciclo. E: extrema; G: grande; I: importante; M: media; R: recuperación. Compruébese primero la utilidad de cuantificar numéricamente la magnitud del estímulo de entrenamiento de cada sesión para establecer la carga a la que se somete el deportista en las estructuras complejas de la planificación. En un microciclo existen diferentes variantes para distribuir la magnitud del estímulo. Véase el

texto para conocer algunos de los factores que determinan la aplicación de cada uno de los diseños representados.

Adaptado de Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994.

Los mismos criterios pueden establecerse para los deportistas que tienen la disponibilidad de ejecutar más de una sesión de entrenamiento diaria. En este caso es habitual planificar sesiones de desarrollo por la mañana y sesiones de mantenimiento y recuperación por la tarde. Sin embargo, esta estructura va a depender nuevamente de si el objetivo es la sucesiva supercompensación positiva del deportista o la supercompensación de efecto acumulado después de varios días caracterizados por una elevada magnitud del estímulo de entrenamiento. También puede ser adecuado planificar en el mismo día dos sesiones de desarrollo de corta duración si los objetivos de entrenamiento lo permiten. Éste sería el caso, por ejemplo, de dos sesiones de fuerza dirigidas respectivamente al desarrollo de las extremidades superiores e inferiores, o de la ejecución por la mañana de una sesión de corta duración orientada al desarrollo de la fuerza explosiva y la ejecución por la tarde de una sesión orientada al desarrollo de la resistencia.

Diversos autores han aportado información útil respecto a la secuenciación de las sesiones en función de los **objetivos de trabajo** (Navarro, 2003; Issurin, 2003; Platonov, 1988; Navarro, 1994). Resaltamos a continuación los aspectos que consideramos más relevantes.

- El aprendizaje de factores de rendimiento motores e informacionales se ve facilitado cuando no existe fatiga del sistema nervioso, por lo que debemos evitar sesiones previas con una elevada carga interna. En cambio, si el objetivo es estabilizar ambos factores en situación de fatiga, es recomendable su trabajo después de sesiones de desarrollo.
- Si deseamos que el deportista desarrolle en una sesión de trabajo su máxima fuerza explosiva con una determinada resistencia, independientemente de si se realiza un trabajo con sobrecargas o específico, únicamente podrá hacerlo si se encuentra totalmente recuperado. Atendiendo a esta consideración, estas sesiones deben planificarse después de sesiones de recuperación o con un nivel de carga interna bajo. Aunque se ha establecido el tiempo de recuperación necesario para realizar una sesión orientada al desarrollo de la fuerza explosiva después de la ejecución de sesiones orientadas al desarrollo del

metabolismo aeróbico y anaeróbico (Platonov, 1988), consideramos que esta temporalidad depende de numerosos factores. Desde nuestra perspectiva, el período óptimo de recuperación para ejecutar una sesión orientada al desarrollo de la fuerza explosiva debe establecerse en función de parámetros objetivos como la medición con encoder de la potencia desarrollada en un ejercicio con sobrecargas y la medición de la fuerza o la velocidad en una acción motriz específica mediante plataforma de contactos, células fotoeléctricas, radar, etc.

- La ejecución de sesiones de desarrollo orientadas a las distintas manifestaciones de resistencia e incluso al mantenimiento de los niveles de fuerza puede programarse en situación de ligera fatiga. Después de ejecutar sesiones orientadas al desarrollo de la resistencia, se requiere aproximadamente 2 días de sesiones de bajo nivel de exigencia.
- En los microciclos en los que por las características de la modalidad deportiva y del modelo de planificación utilizado sea necesario el desarrollo de varios objetivos, la secuenciación sucesiva de objetivos diferentes es probablemente la estructura más adecuada.
- Debe aplicarse una relación óptima entre las sesiones orientadas al desarrollo de la fuerza de los músculos agonistas y las sesiones orientadas al desarrollo de la fuerza de los músculos antagonistas y no dominantes.
- En los microciclos que finalicen con una competición, las sesiones de mayor fatiga deben incluirse en los primeros días y las sesiones orientadas al desarrollo de la fuerza explosiva, en los días más próximos a la competición. A este respecto, existe evidencia científica para la utilización de sesiones de activación, caracterizadas por un bajo volumen y una elevada intensidad mediante la ejecución de ejercicios con sobrecargas y ejercicios específicos en las horas previas a una competición.
- Aunque la evidencia científica de la efectividad de la mayoría de los medios de recuperación es escasa, al menos desde una perspectiva psicológica parece recomendable la utilización de estos medios en sesiones específicas situadas entre las sesiones de desarrollo. Además, la ausencia de un estímulo de entrenamiento durante estas sesiones facilita los procesos de recuperación después de sesiones de exigencia elevada.

2.3. Mesociclo

El **mesociclo** es la unidad de planificación integrada por distintos microciclos

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

cuyo objetivo es el desarrollo preferencial de un determinado nivel de entrenamiento. Así, mientras que los distintos tipos de microciclos se diferencian prioritariamente por el nivel de carga interna, los **distintos tipos de mesociclos** se diferencian por la **orientación en el nivel de entrenamiento**. Podemos definir, por tanto, el mesociclo como la unidad estructural de la planificación que reúne una serie de microciclos con distinto nivel de carga interna pero con similar dirección del entrenamiento. Es una **unidad relativamente completa de entrenamiento**, ya que permite la adaptación en un determinado nivel de entrenamiento. Debe suponer, en consecuencia, la mejora de determinados objetivos de entrenamiento. Esto no tiene por qué estar asociado a una mejora de la prestación deportiva debido a que únicamente se ha incidido en el desarrollo parcial de la globalidad de factores de rendimiento específicos y básicos de la modalidad deportiva.

El número, duración y **características de los mesociclos** definidos en la literatura difieren entre los autores y son dependientes del modelo de planificación utilizado. De hecho, suponen una de las principales discusiones planteadas por los teóricos del entrenamiento más prestigiosos.

La concepción y clasificación inicial de los mesociclos fueron establecidas por Matveyev en el marco de lo que se conoce como modelo de **planificación tradicional o convencional** desarrollado por el autor en 1964 (Matveyev, 1981). Sin embargo, esta clasificación no es habitualmente divulgada y aceptada por los teóricos del entrenamiento debido a que la definición y concreción de los distintos tipos de mesociclos son confusas (véase Navarro, 2003; Harre, 1987). Básicamente, estos mesociclos son distribuidos en dos períodos diferenciados de entrenamiento: el período preparatorio, cuyo objetivo es el desarrollo del estado de prestación del deportista, y el período competitivo, cuyo objetivo es el mantenimiento del estado de prestación. Esta concepción de planificación está caracterizada por realizar inicialmente un entrenamiento de baja intensidad y elevado volumen que progresivamente evoluciona hacia un entrenamiento de bajo volumen y elevada intensidad que coincide con una o varias competiciones. El **período preparatorio** comprende dos fases de entrenamiento: una **fase general**, que en la filosofía adoptada por este manual corresponde al desarrollo preferencial del **nivel de entrenamiento facilitado y resistido**, y una **fase específica**, que corresponde al desarrollo preferencial del **nivel de entrenamiento específico**. El **período competitivo** estructurado en las fases de competición temprana, principal y final corresponde al desarrollo

preferencial del **nivel de entrenamiento específico-competitivo**. El **nivel de entrenamiento dificultado y el asistido** estarían integrados al final de la fase específica del período preparatorio y en el período de competición. En consecuencia, los mesociclos establecidos en el modelo tradicional de planificación determinan un desarrollo simultáneo de los distintos niveles de entrenamiento con una **orientación preferencial a un determinado nivel en función de la fase de entrenamiento**. Aunque originalmente la duración de cada mesociclo en la planificación convencional es incluso inferior a 4 semanas, la realidad práctica de la distribución de los niveles de entrenamiento en los períodos y fases indicados establece una misma **dirección preferencial de entrenamiento durante varios meses**. El **período de transición** o período vacacional es común a cualquier modelo de planificación. Este período tiene como objetivo principal la recuperación física y psicológica del deportista después de un largo período de entrenamiento continuado. Este objetivo debe ser simultaneado con la menor pérdida posible de los niveles de adaptación de los principales factores de rendimiento con el fin de adquirir en el nuevo período de entrenamiento los niveles óptimos en el menor tiempo posible. Para combinar ambos objetivos, se recomienda la ejecución de un programa de **entrenamiento no supervisado** que simultáneamente establezca tareas muy diferentes a las realizadas habitualmente por el deportista durante el resto de la temporada, pero que a su vez mantengan cierta similitud con los requisitos condicionales, motores e informacionales de la modalidad deportiva. Las características de la modalidad deportiva, el riesgo de lesión y el consenso con los deportistas son los criterios principales que hay que considerar para la programación de las tareas en este período. Tener en consideración las preferencias de los deportistas es fundamental para asegurar el cumplimiento de un programa de entrenamiento no supervisado. Desde esta perspectiva, puede considerarse una estrategia adecuada dividir el período en dos partes, una primera en la que se prioricen las **preferencias de los deportistas** y una segunda en la que se prioricen los **aspectos básicos considerados por el cuerpo técnico**. A este respecto, la realización de algunos deportes de equipo o de raqueta que impliquen bajo riesgo lesional como el waterpolo, voley playa o bádminton pueden ser prácticas recomendables. Otras actividades menos asociadas con las modalidades deportivas abiertas como el senderismo y el ciclismo de montaña son recomendables para la primera fase de este período, ya que simultáneamente pueden resultar atractivas para los deportistas y permiten

mantener un nivel óptimo de resistencia cardiovascular y de composición corporal. Para la segunda parte de este período, es recomendable en la mayoría de las modalidades deportivas la ejecución en un entorno natural de carrera continua que incluya cambios de ritmo de intensidad moderada. Igualmente, en la segunda parte de este período es aconsejable realizar ejercicios con pesas a intensidad relativa baja ejecutando la fase concéntrica a velocidad moderada e incluir un programa de estiramientos.

En los años 1980 emergieron diferentes modelos de planificación caracterizados por el concepto de entrenamiento por bloques. El **entrenamiento por bloques** se refiere a ciclos de entrenamiento sucesivos caracterizados por una elevada **concentración de estímulos de entrenamiento** dirigidos al desarrollo de objetivos concretos y claramente definidos. El modelo de planificación desarrollado por Issurin y Kaverin (1985), conocido como **planificación contemporánea o ATR**, es el máximo exponente de la planificación del entrenamiento por bloques. Los autores definieron tres tipos de mesociclos: acumulación con el objetivo de desarrollar habilidades básicas como la resistencia aeróbica, fuerza muscular y patrones generales de la técnica; transformación con el objetivo de desarrollar habilidades más específicas como la resistencia mixta aeróbica-anaeróbica, la resistencia anaeróbica, la fuerza resistencia específica y los patrones específicos de la técnica, y realización, que fue diseñado como una fase de entrenamiento precompetición enfocada principalmente a la modelación de la carrera, el desarrollo de la velocidad máxima y la recuperación previa a una competición próxima (Issurin, 2006). Los objetivos de entrenamiento establecidos por los autores para los mesociclos de acumulación, transformación y realización reflejan claramente las características de las modalidades deportivas en las que inicialmente los autores experimentaron el modelo de planificación ATR, kayak y canoa. Desde nuestra perspectiva, no es posible un nivel de concreción tan específico de los objetivos de entrenamiento de cada mesociclo que sea aplicable a las distintas modalidades deportivas. Sin embargo, es posible establecer una relación coherente entre los distintos mesociclos y los distintos niveles de entrenamiento establecidos en este manual. Así, el mesociclo de **acumulación** tiene como objetivo el desarrollo del **nivel de entrenamiento facilitado y resistido**; el mesociclo de **transformación** incide en el desarrollo del **nivel de entrenamiento específico**, y el mesociclo de **realización**, en el desarrollo del **nivel de entrenamiento específico**.

competitivo. El **nivel de entrenamiento dificultado y asistido** puede ser objetivo tanto del mesociclo de transformación como del mesociclo de realización. Independientemente, sólo mediante el análisis concreto de las características de cada modalidad deportiva es posible una definición más precisa de la relación entre los niveles de entrenamiento y los mesociclos de un modelo de planificación ATR (véase el apartado 3). Estos mesociclos tienen una **duración de pocas semanas**. Los autores establecieron una duración de 4 semanas para los mesociclos de acumulación y transformación y de 2 semanas para el mesociclo de realización (Issurin, 2006). Un período de tiempo inferior a 4 semanas orientado al desarrollo de objetivos específicos de entrenamiento puede ser insuficiente para producir las adaptaciones deseadas. Por el contrario, la elevada concentración de carga orientada a los mismos objetivos de entrenamiento que caracteriza el entrenamiento por bloques determina que la duración de los mesociclos no sea excesivamente larga. De esta forma, el **cambio sucesivo de los objetivos de entrenamiento** permite establecer períodos de recuperación de los objetivos precedentes que garanticen la adaptación de los distintos sistemas implicados. Además, hay que considerar que un aumento de la duración de los mesociclos obligatoriamente determina que transcurra más tiempo sin orientar el entrenamiento a un determinado objetivo, lo que puede inducir, de acuerdo con el concepto de efecto residual, una reversibilidad de las adaptaciones obtenidas. Ciertamente, cuando los distintos objetivos de entrenamiento se desarrollan sucesivamente, la reversibilidad de la adaptación es un factor importante que hay que tener en cuenta. Si desarrolla un objetivo de entrenamiento y se pierde la adaptación de otro objetivo al mismo tiempo, hay que considerar el efecto positivo residual de un tipo de entrenamiento después de su cese y cuán rápido se pierde el nivel de capacidad obtenido cuando se deja de entrenar. Pero no es posible establecer una duración fija de los mesociclos porque depende de otros factores como su ubicación en la temporada, el nivel del deportista y el calendario de competición.

Este análisis de las características de los mesociclos en la planificación convencional y contemporánea determina los **dos modelos generales de aplicación del estímulo de entrenamiento** indicados en el capítulo 2: mesociclos distribuidos en fases de larga duración caracterizados por la aplicación de cargas regulares asociadas al desarrollo simultáneo de distintos objetivos de entrenamiento y mesociclos de corta duración caracterizados por

la aplicación de cargas concentradas asociadas al desarrollo sucesivo de los objetivos de entrenamiento. Las características de la modalidad deportiva y especialmente el nivel del deportista son considerados por los teóricos del entrenamiento los dos factores principales para determinar el modelo de planificación más adecuado. Así, se acepta generalmente que sólo mediante la **aplicación de cargas concentradas** orientadas a objetivos específicos de entrenamiento es posible inducir adaptaciones en **deportistas de alto nivel**. Además, la reducción del número de objetivos de entrenamiento desarrollados simultáneamente facilita la reorientación del entrenamiento debido a que es posible conocer con mayor precisión los factores que han determinado el efecto de entrenamiento, permite al deportista mantener un mayor nivel de concentración y de motivación al centrarse en objetivos concretos y variar sucesivamente los contenidos de entrenamiento, y facilita la estrategia nutricional de acuerdo con las capacidades desarrolladas en cada momento, por ejemplo, una dieta con elevada proporción de proteínas cuando se realiza un entrenamiento de fuerza y una dieta con elevada proporción de hidratos de carbono cuando se realiza un entrenamiento de resistencia (Issurin, 2006). Sin embargo, la **aplicación de cargas regulares** orientadas al desarrollo simultáneo de diferentes objetivos de entrenamiento puede ser suficiente para inducir las adaptaciones deseadas en **deportistas con menor reserva actual**. La aplicación de cargas concentradas en estos deportistas puede inducir el sobreentrenamiento y además no respeta uno de los principios más aceptados de la teoría del entrenamiento, la aplicación en cada momento del mínimo estímulo que produzca adaptación.

El desarrollo simultáneo de diferentes objetivos de entrenamiento puede influir en el nivel de adaptación debido a que es más complicado controlar los efectos negativos que tienen unas capacidades con otras. A este respecto, el desarrollo simultáneo de la fuerza y la resistencia, conocido como **entrenamiento concurrente** (*concurrent training*), es uno de los aspectos más debatidos en la literatura científica. Los posibles efectos negativos que el entrenamiento concurrente puede tener sobre las adaptaciones específicas conducentes a una mejora del rendimiento han determinado que numerosos científicos, teóricos del entrenamiento y técnicos sugieran el entrenamiento de estos dos objetivos en períodos diferentes (Issurin, 2006). De acuerdo con Coffey y Hawley (2007), es razonable sugerir que las adaptaciones específicas del entrenamiento de fuerza y de resistencia son incompatibles, por lo menos a nivel celular/molecular. El entrenamiento de fuerza no

conduce a la biogénesis mitocondrial, y el aumento de la sección de las miofibrillas incrementa las distancias de difusión para el O₂ y los sustratos. Estas adaptaciones no parecen ser favorables para la capacidad de resistencia. Del mismo modo, el entrenamiento de resistencia no tiene un marcado efecto sobre el tamaño de las miofibrillas, y la consiguiente fatiga residual en los músculos puede tener un efecto negativo sobre la síntesis de proteínas y la capacidad para manifestar fuerza. Por tanto, no produce una adaptación favorable para el aumento del tamaño muscular y de la fuerza. De acuerdo con estos autores, probablemente el entrenamiento concurrente reduce la capacidad de adquisición simultánea de la hipertrofia y/o formación mitocondrial en comparación con el entrenamiento aislado de cada uno de estos dos objetivos. Sin embargo, ni siquiera este aspecto tiene clara evidencia científica. Desde el trabajo clásico de Hickson (1980), numerosos estudios han mostrado una variedad de respuestas de adaptación e influencia sobre el rendimiento de fuerza y de resistencia con el entrenamiento concurrente. No son objeto de análisis en este documento las posibles causas de los **resultados controvertidos** respecto al entrenamiento concurrente. El lector interesado puede dirigirse a artículos específicos (p. ej., Davis *et al.*, 2008; Coffey y Hawley, 2007; Docherty y Sporer, 2000).

Independientemente de las numerosas limitaciones y diferencias metodológicas que existen entre los estudios que han abordado el entrenamiento concurrente, consideramos que es necesario un análisis más apropiado, en primer lugar, respecto a las necesidades de fuerza y de resistencia requeridas en las distintas modalidades deportivas. El primer análisis requiere determinar el **efecto del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento de resistencia**. Ciertamente, para la mayoría de las modalidades de resistencia, el entrenamiento de fuerza es un medio más de optimizar el rendimiento. Para estas modalidades deportivas se requiere un óptimo nivel de fuerza y no el desarrollo máximo de fuerza, potencia e hipertrofia muscular. De hecho, en deportistas de elite el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia ha mostrado ser más efectivo que un entrenamiento exclusivo de resistencia para el rendimiento en carreras de atletismo (Kelly *et al.*, 2008; Yamamoto *et al.*, 2008), ciclismo de ruta (Yamamoto *et al.*, 2010; Rønnestad *et al.*, 2009), esquí de fondo (Mikkola *et al.*, 2007; Hoff *et al.*, 2002) y remo (Izquierdo-Gabarren *et al.*, 2009) (véase el análisis específico en el apartado 5 del capítulo 3). Ciertamente es que en estos estudios no se ha determinado si entrenar fuerza y resistencia en períodos

diferentes puede conducir a un incremento del rendimiento de una mayor magnitud.

Existe un interesante debate sobre las características que debe tener el entrenamiento de fuerza para estas modalidades deportivas. La combinación de los componentes del entrenamiento con sobrecargas propuesta en este manual para estas modalidades (véase el capítulo 3), aunque difiere sustancialmente de las características de los programas de entrenamiento propuestos en los estudios antes indicados, tienen como criterio común desarrollar la fuerza prioritariamente mediante adaptaciones neurales. Nuevamente es necesario recordar que el objetivo en estas modalidades deportivas es incrementar el rendimiento de resistencia y no el desarrollo máximo de fuerza y de hipertrofia muscular. Además, un entrenamiento de fuerza orientado a adaptaciones neurales parece interferir poco en las adaptaciones específicas de resistencia. Docherty y Sporer (2000) analizaron con relativo éxito, conforme a la recopilación de trabajos de investigación sobre los efectos del entrenamiento concurrente, un modelo que determina que las interferencias entre la fuerza y la resistencia se observan prioritariamente cuando el objetivo del entrenamiento de ambos tipos de trabajo es obtener adaptaciones periféricas (figura 8.4). Esto implica que la posible interferencia es asociada cuando simultáneamente se trabaja a una intensidad próxima al VO_2 máx. y a una intensidad próxima a 10RM. A este respecto, para la mayoría de las modalidades deportivas es difícil establecer un programa de entrenamiento que implique la zona de interferencia establecida por estos autores. Ciertamente, el entrenamiento a una intensidad próxima a 10RM, cuyo objetivo es el desarrollo de la hipertrofia muscular, suele realizarse al comienzo de un programa de entrenamiento (por ejemplo, en el mesociclo de acumulación de una planificación contemporánea y en el período preparatorio general de una planificación convencional, véase más adelante) coincidiendo para la mayoría de las modalidades de resistencia con un nivel de entrenamiento facilitado, habitualmente a una intensidad significativamente inferior al VO_2 máx. Únicamente esta zona de interferencia puede establecerse para las pruebas de resistencia que se desarrollan en la zona metabólica de eficiencia anaeróbica (de 6 seg a 6 min) debido a que el nivel de entrenamiento facilitado es próximo a la intensidad correspondiente al VO_2 máx. Otro aspecto a analizar es que en el modelo propuesto por Docherty y Sporer (2000), como en la mayoría de los trabajos de investigación, se establece la concepción tradicional del entrenamiento con

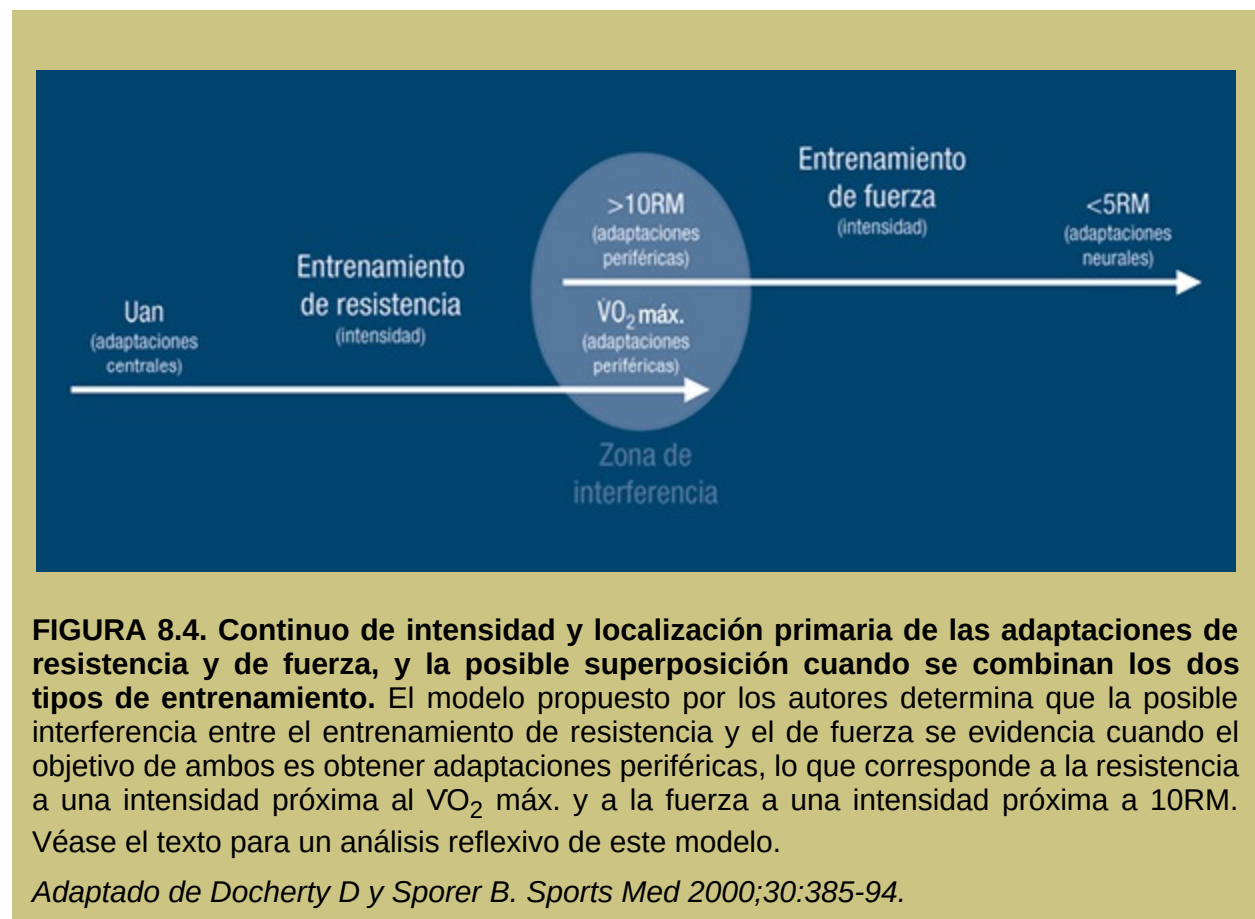
*****ebook converter DEMO Watermarks*****

sobrecargas. Esto implica, por ejemplo, la ejecución de cada serie hasta el fallo muscular. Es interesante que, en el único estudio controlado, Izquierdo-Gabarren (2009) observaran un mayor rendimiento de resistencia en remo en el grupo de deportistas que para una intensidad de 4-10RM ejecutaron las series sin llegar hasta el fallo muscular que en el grupo de deportistas que ejecutaron el mayor número de repeticiones posibles. Estos resultados son interesantes ya que incluso en el remo, que puede considerarse una de las modalidades que requieren un mayor equilibrio de entrenamiento de fuerza y de resistencia y en el que además es necesario un óptimo desarrollo de hipertrofia muscular, un entrenamiento orientado a adaptaciones neurales se mostró más efectivo que un entrenamiento orientado a adaptaciones periféricas. En definitiva, y a la espera de estudios que determinen con deportistas de elite el efecto diferencial de establecer el entrenamiento de fuerza y resistencia en el mismo o en distintos períodos de entrenamiento, parece evidente que el entrenamiento de fuerza beneficia al rendimiento de resistencia, y que además las posibles interferencias entre ambos tipos de entrenamiento están asociadas prioritariamente cuando el programa de entrenamiento no es adecuado, principalmente por establecer una concepción tradicional del entrenamiento con sobrecargas orientado al desarrollo de la hipertrofia muscular.

El análisis mostrado anteriormente hace referencia al efecto del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento de resistencia. Otro aspecto del análisis es el **efecto del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento de fuerza**. Efectivamente, existen numerosas modalidades deportivas, fundamentalmente caracterizadas por esfuerzos intermitentes (deportes de equipo, deportes de raqueta, deportes de combate, deportes compositivos, etc.), que, aunque requieren la capacidad de resistencia, presentan un rendimiento también dependiente de la manifestación de fuerza en acciones ejecutadas a elevada intensidad. Existen suficientes argumentos para considerar que el entrenamiento de resistencia afecta negativamente el rendimiento de fuerza (Chtara *et al.*, 2008; Elliot *et al.*, 2007). Nuevamente consideramos que la interferencia del entrenamiento de resistencia en la manifestación de fuerza puede estar asociada a un programa de entrenamiento inadecuado. En los esfuerzos intermitentes se ha justificado en este manual que el entrenamiento de resistencia debe ir orientado a mantener el mayor nivel de fuerza durante toda la competición, y no al desarrollo del VO₂ máx. o del Uan. Aquí resulta sugerente la sentencia de Elliot *et al.*, (2007):

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

“aunque la ciencia de la fuerza y el acondicionamiento ya no está en su infancia y existen considerables pruebas de que muestra el efecto negativo del entrenamiento de resistencia aeróbica sobre la fuerza y la potencia de los atletas, los entrenadores a menudo se inclinan por ejecutar los entrenamientos que ellos realizaban hace muchos años”. De acuerdo con los autores, el entrenamiento en estas modalidades deportivas no debe basarse en la ejecución de los tradicionales métodos asociados al entrenamiento de resistencia de los esfuerzos continuos. La disminución del rendimiento de fuerza al utilizar métodos continuos puede deberse a adaptaciones neuromusculares inapropiadas, catabolismo, incremento del riesgo de sobreentrenamiento y un aprendizaje motor inefectivo. Como se ha establecido en el capítulo 4, las adaptaciones de resistencia requeridas en estas modalidades deportivas deben perseguirse mediante métodos que simulen la motricidad específica y las fases de la competición de mayor exigencia.



La **secuenciación de los microciclos en un mesociclo** es dependiente de numerosos factores como la modalidad deportiva, el tipo de mesociclo, el nivel del deportista y el momento de la temporada.

Un microciclo de **ajuste** es necesario al comienzo de cada mesociclo, especialmente si se aplica un entrenamiento por bloques, debido al cambio que se produce en la orientación de los objetivos de entrenamiento. Sin embargo, conforme avance el proceso de entrenamiento durante la temporada, debido al efecto acumulativo de entrenamiento, el microciclo puede ser de menor duración e incluso no aplicarse. En cambio, su duración e importancia son mayores después de un período de vacaciones debido a la reversibilidad de la adaptación. Los deportistas con una reserva actual de adaptación baja requieren un mayor número de microciclos de ajuste en la temporada debido a la necesidad de que el nivel del estímulo de entrenamiento se aplique de forma más progresiva.

Los microciclos de **carga** constituyen la base de la estructura de los mesociclos porque el nivel de carga interna es el adecuado para producir las adaptaciones deseadas. En cambio, la utilización de microciclos de **impacto** es dependiente del nivel del deportista. Es habitual para inducir un nivel de carga interna suficiente en cada mesociclo la aplicación sucesiva de 2-3 microciclos de carga y/o impacto. Igualmente, el número de microciclos sucesivos con un nivel de carga interna elevado es dependiente prioritariamente del nivel del deportista.

Después de la aplicación de microciclos con elevado nivel de exigencia en la carga de entrenamiento, se requiere un microciclo de **recuperación** que permita la adaptación del trabajo precedente. Sin embargo, en los mesociclos orientados al desarrollo preferencial o exclusivo del nivel de entrenamiento específico-competitivo se precisa la aplicación de un microciclo de **activación** que suceda a los microciclos con elevada carga interna. Para estos mesociclos, el microciclo de **competición**, independientemente de que su objetivo sea la máxima prestación en competición o en pruebas de evaluación, debe suceder al microciclo de activación. Lógicamente, a un microciclo de competición con elevada exigencia física y psicológica le ha de suceder un microciclo de recuperación.

La **progresión del nivel de carga interna** asociada a cada microciclo es dependiente del nivel del deportista. A este respecto, Navarro (2003, 1994) establece dos modelos: **selección contrastante**, de aplicación para deportistas con elevada reserva actual, donde la carga de trabajo difiere

significativamente entre los distintos microciclos (p. ej., ajuste-impacto-impacto-recuperación), y **selección gradual**, de aplicación para deportistas con baja reserva actual, donde la carga de trabajo aumenta y disminuye gradualmente (p. ej., ajuste-carga-impacto-cargarecuperación).

De especial interés por su repercusión sobre el rendimiento son la estructura y las características del entrenamiento en el mesociclo previo a una competición importante, período taper. El objetivo durante el **período taper** es mantener las adaptaciones fisiológicas alcanzadas en el entrenamiento intensivo, reduciendo simultáneamente el impacto negativo del entrenamiento (p. ej., la fatiga residual asociada a un período de entrenamiento intenso) (Bishop y Edge, 2005). Los factores fisiológicos que pueden estar asociados a una mejora del rendimiento durante el período taper son parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos, bioquímicos, hormonales y neuromusculares (Mujika *et al.*, 2004). Otros factores biomecánicos y neuromusculares como el desarrollo de la fuerza, la capacidad elástica del músculo y el CEA también pueden beneficiarse del período taper (Izquierdo *et al.*, 2007; Papoti *et al.*, 2007). Se ha sugerido asimismo que hay una serie de variables psicológicas que pueden contribuir a mejorar el rendimiento después de un período taper (Hooper *et al.*, 1998). Este período se caracteriza por una reducción drástica del estímulo de entrenamiento durante los 5 a 21 días previos a una competición importante, y tiene una sólida evidencia científica sobre la **mejora del rendimiento** en deportistas de elite que compiten en esfuerzos continuos. Una mejora consistente del rendimiento de aproximadamente un 3% se ha descrito en natación (distancia de 50 a 1.500 m) después de un período taper de 10 a 21 días (Mujika *et al.*, 2002; Johns *et al.*, 1992; Costill *et al.*, 1991; 1985). Una mejora similar se ha observado en el rendimiento de una carrera de atletismo de 5 km después de un período taper de 7 días (Houmard *et al.*, 1994). También se ha descrito un incremento del rendimiento en ciclismo del 3-8% después de un período taper de 7-14 días (Martin *et al.*, 1994; Pyke *et al.*, 1988). Estos aumentos porcentuales del rendimiento consiguientes al período taper en estas modalidades deportivas se deben considerar relevantes si tenemos en cuenta que, por ejemplo en natación, las diferencias porcentuales de rendimiento entre el medallista de oro y el de bronce o entre el tercero y el octavo clasificados en las diferentes pruebas disputadas en los JJOO de Sydney fueron claramente inferiores (Mujika *et al.*, 2002). Los autores, además, mostraron que, al menos para la natación, la efectividad del período taper es independiente de la distancia de

competición, el nivel de rendimiento y el sexo (Mujika *et al.*, 2002). Menos estudiados son los efectos del período taper sobre el rendimiento de fuerza y de resistencia a la fuerza explosiva. A este respecto, Bishop y Edge (2005) observaron un incremento del 4% en el rendimiento de los repetidos esprines característicos de los deportes de equipo después de 10 días de taper, e Izquierdo *et al.*, (2007) observaron un incremento de los niveles de fuerza máxima, aunque no de potencia, después de un período taper de 4 semanas. Ciertamente, son necesarios futuros estudios para determinar la efectividad del período taper sobre parámetros condicionales, motores e informacionales asociados al rendimiento de los deportes de equipo, deportes de combate, deportes de precisión y deportes que requieren la manifestación de fuerza explosiva. De especial interés es que los estudios han focalizado su objetivo en determinar la influencia de este período sobre el rendimiento de un día, siendo actualmente desconocida la influencia sobre el rendimiento en competiciones que duren incluso más de una semana (p. ej., Campeonato del Mundo de Fútbol). Otros aspectos también han recibido poca atención, como son la influencia del entrenamiento previo sobre las características que debe tener el programa durante el período taper y la influencia de parámetros como los viajes de larga duración, el calor y la altitud (Pyne *et al.*, 2009).

Aunque todavía son numerosos los planteamientos que la literatura científica no ha resuelto, existen suficientes argumentos como para establecer las directrices principales que debe tener el **programa de entrenamiento** durante un período taper para optimizar el rendimiento en competición. En primer lugar, el estímulo de entrenamiento ha de ser reducido progresivamente durante 7 a 21 días (Bishop y Edge, 2005; Houmard *et al.*, 1994; Johns *et al.*, 1992; Costill *et al.*, 1991; 1985). La reducción del estímulo de entrenamiento puede ser drástica, lineal o exponencial (Mújika y Padilla, 2003) (figura 8.5). Se ha demostrado que una disminución progresiva del estímulo de entrenamiento es más efectiva que una reducción drástica (Thomas *et al.*, 2008). También se ha sugerido que la reducción exponencial del estímulo de entrenamiento es más efectiva que una reducción lineal y que una reducción exponencial más rápida es mejor que una reducción exponencial lenta (Banister *et al.*, 1999). Presumiblemente, una disminución rápida ofrece más tiempo para superar la fatiga acumulada en las últimas semanas del entrenamiento intensivo (Pyne *et al.*, 2009). También se ha constatado que el estímulo de entrenamiento debe reducirse de acuerdo con el volumen de cada sesión, mientras que la intensidad y frecuencia del

entrenamiento se han de mantener o reducir ligeramente (Mujika *et al.*, 2000; Houmard *et al.*, 1994; Shepley *et al.*, 1992). Una reducción excesiva de la intensidad del entrenamiento puede comprometer el efecto residual de las adaptaciones determinando su reversibilidad. Estas características han sido confirmadas en un reciente metaanálisis (Bosquet *et al.*, 2007). Los autores seleccionaron 27 de los 182 estudios potenciales realizados sobre el período taper según diferentes criterios de calidad. Observaron que la estrategia óptima para optimizar el rendimiento es una intervención de disminución gradual de 2 semanas, en la que el volumen de entrenamiento disminuye exponencialmente un 41-60%, sin modificación alguna ya sea de la intensidad del entrenamiento o de la frecuencia. No obstante, mediante modelos matemáticos se ha demostrado que en nadadores de elite las características de la reducción óptima de entrenamiento durante el período taper dependen del entrenamiento realizado en las semanas previas (Thomas *et al.*, 2008). Por ejemplo, una mayor sobrecarga previa al período taper conduce a un mayor rendimiento, pero requiere que el período taper sea más largo. También se observó una gran variabilidad individual en los efectos del período taper sobre el rendimiento. Por ejemplo, atletas altamente entrenados necesitan una mayor reducción del estímulo de entrenamiento durante un período ligeramente más corto que sujetos menos capacitados. No obstante, estos modelos matemáticos requieren su confirmación en estudios controlados sobre la práctica. Dada la importancia del período taper, y a la espera de nuevas respuestas que aportarán futuros estudios, se recomienda para un estudio más profundo la lectura del reciente libro escrito por uno de los principales referentes, *Tapering and peaking for optimal performance* (Mujika, 2009).

2.4. Macro ciclo y temporada

El **macro ciclo** es la unidad de planificación que integra todos los mesociclos con distinta orientación de entrenamiento. En la planificación convencional incluye los mesociclos asociados al período preparatorio y competitivo, y en la planificación contemporánea, los mesociclos de acumulación, transformación y realización. El macro ciclo se debe considerar, en consecuencia, la **unidad completa de preparación**, ya que integra el entrenamiento de todos los factores de rendimiento específicos y básicos asociados a los distintos niveles de entrenamiento de la modalidad deportiva.

Si el efecto del entrenamiento ha sido positivo, al final del macrociclo debe objetivarse un incremento de la prestación deportiva.

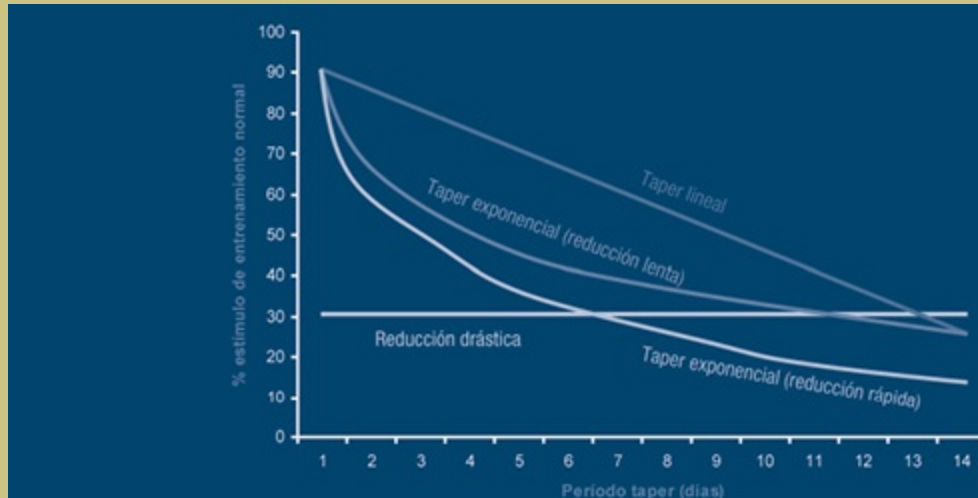


FIGURA 8.5. Representación esquemática de los distintos tipos de taper. Obsérvense las diferentes metodologías establecidas para la disminución del estímulo de entrenamiento en el período taper.

Adaptado de Mujika I y Padilla S. Med Sci Sports Exerc 2003;35:1182-7.

Recordemos que se han establecido diferentes niveles de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia, movilidad articular y factores motores e informaciones para el desarrollo de la fuerza. En las figuras 8.6 y 8.7, se establece la **secuenciación de los niveles de entrenamiento** en el macrociclo. La justificación de esta secuenciación de los niveles de entrenamiento se ha concretado de forma general en el capítulo 2 y de forma específica en los distintos capítulos asociados a los distintos factores de rendimiento.



FIGURA 8.6. Secuenciación en el macrociclo de los niveles de entrenamiento asociados al desarrollo de la resistencia, movilidad articular y factores motores e informacionales. El macrociclo implica el desarrollo de todos los niveles de entrenamiento. Obsérvese también la secuenciación óptima de los distintos niveles de entrenamiento que permite, si los efectos han sido positivos, alcanzar un pico de prestación deportiva.

Original del autor.

La secuenciación de los distintos niveles de entrenamiento es independiente del modelo de planificación utilizado. Sin embargo, como se ha especificado previamente, en un modelo tradicional se desarrollan simultáneamente varios niveles de entrenamiento aunque con diferente proporción en función de la proximidad o lejanía de una competición principal (figura 8.8), y en el modelo contemporáneo, de forma general en cada mesociclo se desarrolla un único nivel de entrenamiento (figura 8.9). La duración del desarrollo preferencial o exclusivo de un determinado nivel de entrenamiento también difiere en función del modelo de planificación. Este aspecto está determinado por el número de macrociclos incluidos en la temporada en los distintos modelos de planificación. En la **planificación tradicional** del entrenamiento originariamente sólo se establece **un macrociclo** por temporada, con la consiguiente obtención de un único pico de prestación que limita lógicamente el número de competiciones en que puede participar con éxito el deportista. Además, de acuerdo con Navarro (2003), la elevada duración de los períodos preparatorio y competitivo puede limitar las adaptaciones deseadas. Así, un período preparatorio prolongado caracterizado por un alto volumen de trabajo y baja intensidad puede causar una estabilización de la aplicación de fuerza en condiciones muy diferentes a las específicas de la modalidad deportiva. Un período competitivo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

prolongado puede provocar la reversibilidad de la adaptación antes de las competiciones principales de los objetivos de trabajo desarrollados en el período preparatorio. Además, es conocido que el máximo nivel de prestación no se puede mantener mucho tiempo, por lo que un período de tiempo excesivamente prolongado de cargas específicas y competitivas puede inducir que aquél se obtenga antes de las competiciones principales. Por estos motivos, variaciones posteriores incluyen **2 ó 3 macrociclos** por temporada, siendo habitual que la duración del período preparatorio sea mayor en el primer macrociclo y la duración del período competitivo lo sea en el segundo y tercer macrociclos. La inclusión de varios macrociclos en un sistema de planificación convencional puede considerarse una intensificación del estímulo de entrenamiento, aproximando progresivamente el proceso de entrenamiento a un sistema de planificación contemporánea y, en consecuencia, a una estrategia adecuada en la progresión del entrenamiento durante la trayectoria de un deportista. En la **planificación contemporánea**, los mesociclos son de corta duración, estableciéndose habitualmente de **4 a 7 macrociclos** en la temporada (Issurin, 2006). El número de macrociclos depende del nivel del deportista y del calendario de competición. Habitualmente, la duración del mesociclo de acumulación es mayor en los primeros macrociclos para producir efectos de adaptación prolongados de los factores asociados al nivel de entrenamiento facilitado y resistido. Cuando el efecto de adaptación sea estable, será suficiente en los últimos macrociclos establecer mesociclos de acumulación de corta duración que permitan mantener las adaptaciones en estos niveles de entrenamiento. Lógicamente, la duración del mesociclo de transformación y especialmente la del mesociclo de realización serán mayores al aproximarnos a las competiciones principales.



FIGURA 8.7. Secuenciación en el macrociclo de los niveles de entrenamiento asociados al desarrollo de la fuerza. Secuenciación óptima en un macrociclo de los distintos niveles de entrenamiento asociados a las distintas manifestaciones de fuerza que permite, si los efectos han sido positivos, alcanzar un pico de prestación deportiva.

Original del autor.

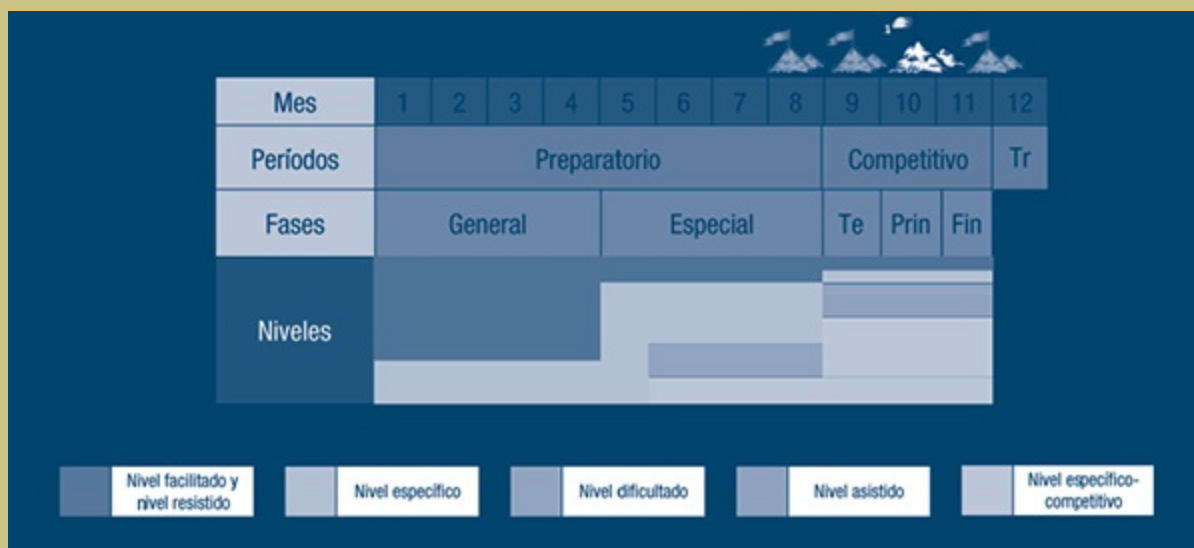


FIGURA 8.8. Ejemplo de distribución de los distintos niveles de entrenamiento durante la temporada siguiendo un modelo de planificación tradicional integrado por 1 macrociclo. Tr: período de transición; Te: competiciones tempranas; Prin: competiciones principales; Fin: competiciones finales. Obsérvese la secuenciación óptima de los distintos niveles de entrenamiento en una planificación convencional. En la secuencia establecida anteriormente se sigue priorizando determinados niveles de entrenamiento en función del momento de la temporada. Esta secuencia debe adaptarse a las características de cada modalidad deportiva. Véase el texto para un análisis detallado.

Original del autor.



FIGURA 8.9. Ejemplo de distribución de los distintos niveles de entrenamiento durante la temporada siguiendo un modelo de planificación contemporánea integrado por 4 macrociclos. A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización; Tr: período de transición. Obsérvese la secuenciación óptima de los distintos niveles de entrenamiento en una planificación contemporánea, en este caso compuesta por 4 macrociclos. En la secuencia establecida anteriormente se sigue trabajando de forma concentrada cada nivel de entrenamiento en función del mesociclo correspondiente. El nivel específico-competitivo se desarrolla en el mesociclo de realización coincidiendo con las competiciones. Esta secuencia debe adaptarse a las características de cada modalidad deportiva. Ver texto para un análisis detallado.

Original del autor.

Síntesis

- Los sistemas de planificación que consideran la secuenciación del mapa conceptual de factores de rendimiento de cada modalidad deportiva durante una temporada se estructuran en unidades de planificación progresivamente más pequeñas: macrociclo, mesociclo, microciclo y sesión. Estas estructuras son aceptadas en la literatura científica y a nivel teórico y práctico.
- La sesión de entrenamiento es la unidad más pequeña de la planificación, implicando tradicionalmente un trabajo continuado de uno o varios objetivos de entrenamiento para inducir un proceso de fatiga aguda.

- Las sesiones de entrenamiento más habituales se estructuran en una fase de calentamiento, que prepara al deportista fisiológica y psicológicamente para el desarrollo posterior de uno o varios factores de rendimiento mediante una secuencia de ejercicios de progresiva intensidad y especificidad; la parte principal, cuyos contenidos y secuenciación están definidos por los objetivos de la sesión, y una parte de conclusión, cuyos objetivos son la transición progresiva del esfuerzo al reposo, acelerar la recuperación del deportista y establecer un análisis sobre la sesión.
- Los microciclos establecen la secuenciación de las sesiones de entrenamiento y la magnitud del estímulo durante un período próximo a una semana. Los distintos microciclos se diferencian exclusivamente por la magnitud del estímulo de entrenamiento: ajuste, carga, impacto, activación, competición y recuperación.
- El microciclo de ajuste se diseña para preparar al deportista para microciclos de mayor exigencia.
- El microciclo de carga se diseña con una magnitud de estímulo de entrenamiento suficiente para inducir adaptaciones.
- El microciclo de impacto se diseña con el mayor nivel de magnitud del estímulo de entrenamiento para inducir la posterior supercompensación de efecto acumulado.
- El microciclo de activación se diseña para simular la competición, reduciendo significativamente el volumen de entrenamiento y manteniendo la intensidad con el objetivo de llegar en el mayor estado de supercompensación a la competición o las pruebas de valoración.
- El microciclo de competición se diseña para programar todas las actividades antes, durante y después de la competición.
- El microciclo de recuperación se diseña con el objetivo de restaurar fisiológica y psicológicamente al deportista después de períodos intensos de entrenamiento y/o competiciones.
- El mesociclo es la unidad de planificación integrada por distintos microciclos que se diferencian por la magnitud del estímulo de entrenamiento, pero que tienen similar orientación del entrenamiento para el desarrollo preferencial o exclusivo de un determinado nivel o niveles de entrenamiento.
- El mesociclo es una unidad de planificación relativamente completa, ya que permite el desarrollo de un determinado nivel o niveles de

entrenamiento, que no tiene por qué asociarse a una mejora del rendimiento deportivo debido a que otros niveles de entrenamiento no han sido entrenados.

- El mesociclo es la unidad de planificación diferencial entre los principales sistemas de planificación utilizados. Los sistemas de planificación convencional y contemporáneo son los más difundidos.
- En el sistema de planificación contemporáneo se establecen los mesociclos de acumulación, transformación y realización. Cada mesociclo se caracteriza por la concentración de cargas en un determinado nivel o niveles de entrenamiento durante períodos relativamente cortos, 3-5 semanas, siendo habitualmente aplicados a deportistas con reserva actual elevada.
- El mesociclo de acumulación incide en el desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado y resistido. El mesociclo de transformación incide en el desarrollo del nivel de entrenamiento específico. El mesociclo de realización incide en el desarrollo del nivel de entrenamiento específico-competitivo. Los niveles de entrenamiento dificultado y asistido pueden ser objeto tanto del mesociclo de transformación como del mesociclo de realización. La distribución de los niveles de entrenamiento en los mesociclos debe adaptarse a cada modalidad deportiva.
- En el sistema de planificación convencional se ha difundido con más claridad la utilización de diferentes períodos de entrenamiento que de diferentes mesociclos. Cada período se caracteriza por la aplicación de cargas regulares, desarrollando simultáneamente, aunque con distinta proporción, los distintos niveles de entrenamiento en un período de tiempo relativamente prolongado (varios meses), siendo habitualmente aplicados a deportistas con reserva actual baja.
- El período preparatorio general incide en el desarrollo preferencial del nivel de entrenamiento facilitado y resistido. El período preparatorio específico incide en el desarrollo preferencial del nivel de entrenamiento específico. El período competitivo incide en el desarrollo preferencial del nivel de entrenamiento específico-competitivo. Los niveles de entrenamiento dificultado y asistido son objeto de entrenamiento en la parte final del período preparatorio específico y en el período preparatorio. La distribución de los niveles de entrenamiento en los períodos debe adaptarse a cada modalidad deportiva.

- El macrociclo es la unidad de planificación que integra los mesociclos o períodos con distinta orientación de entrenamiento. En la planificación convencional incluye los períodos preparatorio y competitivo, y tiene una duración de varios meses o incluso de un año. En la planificación contemporánea comprende los mesociclos de acumulación, transformación y realización, y tiene una duración habitual de 2-3 meses.
- El macrociclo debe permitir una optimización del rendimiento, puesto que se ha incidido en el desarrollo de todos los niveles de entrenamiento.
- La temporada corresponde a un año natural e integra varios macrociclos y los períodos de transición o vacacionales. El sistema de planificación convencional habitualmente está integrado por 1 ó 2 macrociclos. El sistema de planificación contemporáneo habitualmente está integrado por 4 ó 6 macrociclos. El número de macrociclos determina el número de veces que se pretende alcanzar un alto nivel de prestación de los deportistas.
- El diseño y el control del entrenamiento son los períodos de transición y son relevantes para reducir la reversibilidad de la adaptación.

Cuestionario de asimilación

1. Indica las estructuras de planificación de un sistema convencional y contemporáneo.
2. Establece en qué estructura de un sistema de planificación contemporáneo está previsto un incremento significativo del desarrollo de determinados objetivos o factores de rendimiento.
3. Señala en qué mesociclo de un sistema de planificación contemporáneo es habitual la utilización de un microciclo de ajuste.
4. Establece el tipo de sesiones características de los microciclos de impacto.
5. Indica de qué depende el microciclo inicial de un mesociclo.
6. Establece los principales objetivos de entrenamiento de un mesociclo de realización y del período competitivo.
7. Señala los microciclos que van a ser los predominantes durante una temporada.

- 8.** Explica cómo solucionarías la posible interferencia entre el entrenamiento de fuerza y de resistencia.
- 9.** Identifica el mesociclo y período en el que se desarrollan de forma concentrada o prioritaria las capacidades específicas de una determinada modalidad deportiva
- 10.** Explica la diferencia en la aplicación de cargas de entrenamiento según un modelo de interconexión simultánea y secuencial, y su relación con la reserva actual de los deportistas.
- 11.** Cita los posibles beneficios de un sistema de planificación contemporáneo para el control del entrenamiento e indica en qué momentos de la temporada realizarías los tests de reorientación del entrenamiento.
- 12.** Señala en qué sistema de planificación es más factible obtener en más momentos un elevado nivel de prestación deportiva.
- 13.** Identifica el número de momentos en que un deportista obtiene un elevado nivel de prestación en un microciclo, un mesociclo, un macrociclo y una temporada.
- 14.** Indica el sistema de planificación que consideras más apropiado para un deportista con reserva actual elevada.
- 15.** Establece las diferencias que existen en la aplicación de un mesociclo de acumulación y de transformación al comienzo y al final de la temporada.
- 16.** Explica la secuenciación de los distintos niveles de entrenamiento en un sistema de planificación convencional y en uno contemporáneo.
- 17.** Describe las características y el momento de la temporada de un período taper.

Planificación para un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Disponer de ejemplos de referencia de la planificación en modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales.
- Disponer de los conocimientos suficientes para diseñar con coherencia un sistema de planificación convencional y contemporáneo adaptado al calendario de competición, nivel del deportista y características de las distintas modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación en momentos puntuales.

Índice:

- 3.1. Deportes que requieren la optimización de la fuerza explosiva
 - Mapa conceptual de factores de rendimiento y calendario de competición
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo
- 3.2. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad constante
 - Mapa conceptual de factores de rendimiento y calendario de competición
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo
- 3.3. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad variable
 - Mapa conceptual de los factores de rendimiento y calendario de competición
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional
 - Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación

contemporáneo

3.4. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos intermitentes

Mapa conceptual de los factores de rendimiento y calendario de competición

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación

contemporáneo

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Aunque actualmente la mayoría de los deportistas participan en muchas competiciones, el objetivo principal de cada temporada es la **optimización del rendimiento en competiciones puntuales**. En este apartado se establecen ejemplos de distribución coherente durante la temporada de los factores de rendimiento en función de las fechas de las competiciones principales para las principales familias de deportes establecidas en este manual: modalidades deportivas que requieren la optimización de la fuerza explosiva, modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad constante, modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad variable y modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos intermitentes. Para cada familia de deportes se establece, considerando el mismo calendario de competición, la distribución de los factores de rendimiento siguiendo las directrices de un sistema de **planificación convencional** y de un sistema de **planificación contemporáneo**. La elección de un determinado sistema de planificación depende de numerosas variables, especialmente el nivel del deportista. Independientemente, la distribución establecida para ambos sistemas de planificación debe servir sólo como ejemplo de referencia, considerando, además de la posibilidad de numerosas variantes, que no existe evidencia científica del efecto diferencial de los distintos sistemas de planificación tradicionalmente utilizados en la práctica.

3.1. Deportes que requieren la optimización de la fuerza explosiva

Mapa conceptual de factores de rendimiento y calendario de competición

Los ejemplos de planificación mostrados consideran las características de la mayoría de los **deportes que requieren la optimización de la fuerza explosiva**, su aplicación ante una magnitud de resistencia relativamente baja

en condiciones previamente establecidas (p. ej., saltos y lanzamientos en atletismo). En estas modalidades deportivas se ha establecido el siguiente **mapa conceptual de factores de rendimiento**: nivel de entrenamiento específico (fuerza explosiva específica, movilidad dinámica específica y motricidad e informacional específico), nivel de entrenamiento resistido (sobrecargas altas y medias y ejercicios específicos resistidos), nivel de entrenamiento asistido (ejercicios específicos asistidos), y nivel de entrenamiento facilitado (movilidad estática y dinámica con amplitud del movimiento inferior al de competición y motricidad e informacional facilitado).

Se ha establecido un **calendario de competición** característico de estas modalidades deportivas, destacando tres competiciones principales (en marzo, julio y agosto), siendo la última la de mayor relevancia.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional

Considerando las fechas de las competiciones principales se establecen 2 **macrociclos** (figura 8.10). El primer macrociclo se caracteriza por un largo período preparatorio, y el segundo macrociclo, por un período preparatorio de menor duración y equivalente a la duración del período competitivo.

El **período preparatorio general** incide especialmente en el desarrollo de la fuerza explosiva con cargas altas, la movilidad estática y dinámica con menor amplitud del movimiento que en competición, y el nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional. Durante este período comienza progresivamente el trabajo con sobrecargas medias y ejercicios resistidos, incidiendo al final también en el desarrollo de los factores de rendimiento específicos.

El **período preparatorio especial** incide especialmente en el desarrollo de la fuerza explosiva con cargas medias y con ejercicios específicos resistidos. Se mantiene, aunque en menor proporción que en el período general, el desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado, incrementando progresivamente el desarrollo del nivel de entrenamiento específico.

El **período competitivo** establece un trabajo orientado prioritariamente al desarrollo del nivel de entrenamiento específico y a la ejecución de ejercicios específicos asistidos. Se mantiene, aunque en menor proporción que en el período preparatorio especial, el trabajo con sobrecargas medias y ejercicios

específicos resistidos, y el desarrollo de la movilidad estática.



Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo

Se establecen **5 macrociclos** claramente diferenciados en la duración de los distintos mesociclos (figura 8.11). En los dos primeros macrociclos, el mesociclo de acumulación tiene mayor duración, mientras que en el tercer macrociclo, coincidiendo con la primera fase de competición, se establece un mesociclo de acumulación de corta duración y un mesociclo de realización de mayor duración. Después del primer período de competiciones se establece un cuarto macrociclo con un mesociclo de acumulación de suficiente duración como para establecer las bases para la parte final de la temporada. En este macrociclo se incide prioritariamente en el mesociclo de transformación, mientras que en el último macrociclo, coincidiendo con el período de las principales competiciones de la temporada, se incide prioritariamente en el mesociclo de realización.

En el **mesociclo de acumulación** se desarrolla exclusivamente la fuerza explosiva con cargas altas, la movilidad estática y dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición y el nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional.

En el **mesociclo de transformación** se persigue la transferencia del trabajo previo con sobrecargas altas a la fuerza aplicada con cargas medias y a la fuerza aplicada en ejercicios específicos resistidos. Esto determina el comienzo del trabajo con parámetros de movilidad y motricidad semejantes a los de la competición.

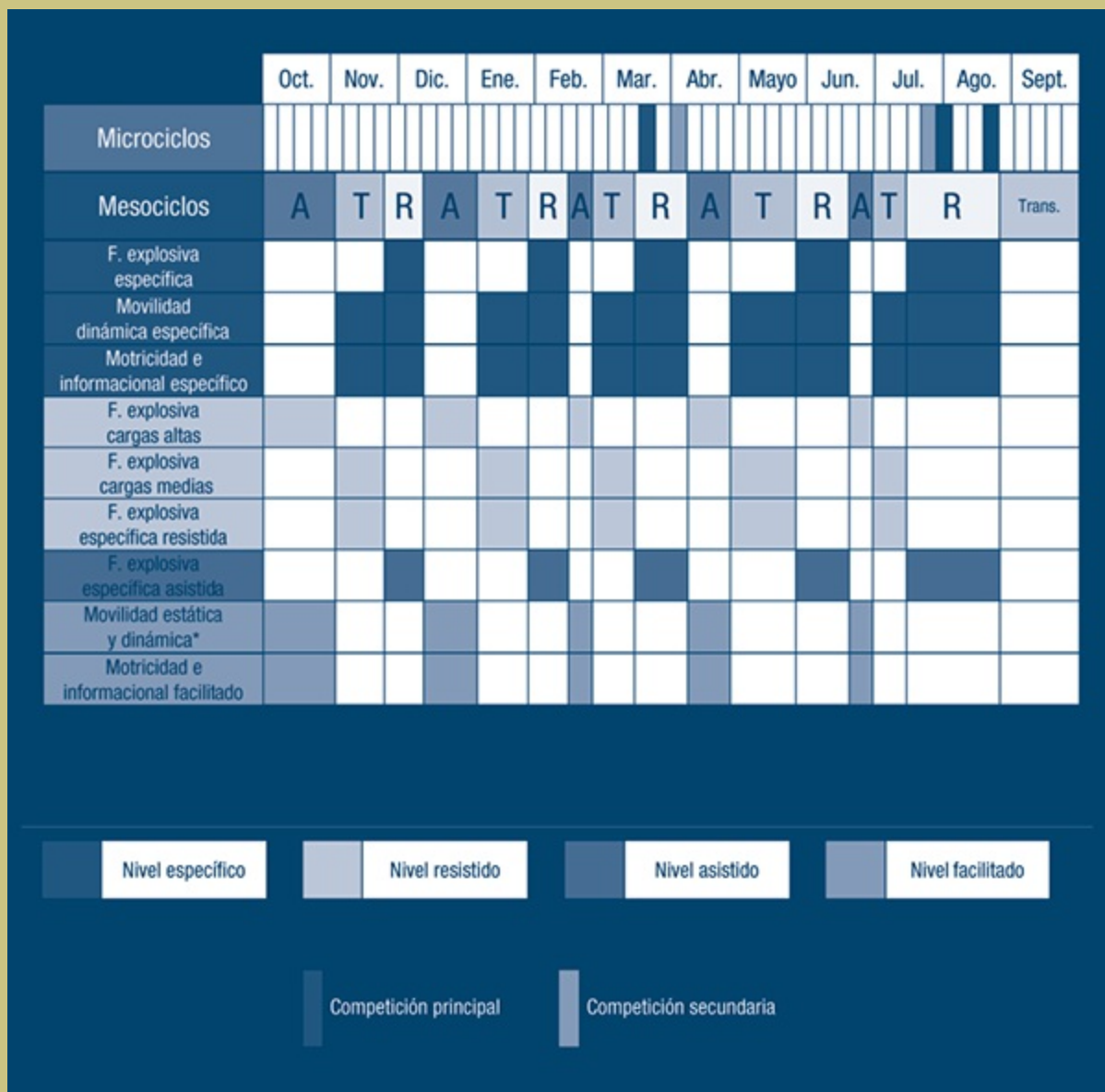


FIGURA 8.11. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo en modalidades deportivas que requieren la optimización de la fuerza explosiva. A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización; * Movilidad dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición. Véase el texto para comprender la distribución en cada mesociclo y macrociclo de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

En el **mesociclo de realización** se incide exclusivamente en el nivel de entrenamiento específico y en la ejecución de ejercicios específicos asistidos.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

3.2. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad constante

Mapa conceptual de factores de rendimiento y calendario de competición

En los **esfuerzos ejecutados a intensidad constante**, el **mapa conceptual de los factores de rendimiento** varía significativamente en función de la duración de la competición. Los sistemas de planificación mostrados consideran como **ejemplo una prueba de 5.000 m en atletismo** (13-15 min). Similar planteamiento modificando los factores de rendimiento puede establecerse para las distintas duraciones del esfuerzo. Un esfuerzo de esta duración se ejecuta en la intensidad alta de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica, con el VO_2 máx. como límite fisiológico. Así, el nivel de entrenamiento facilitado corresponde al desarrollo de la zona de intensidad media de eficiencia aeróbica-anaeróbica, a la tolerancia láctica con requerimiento energético inferior al de competición y a la ejecución facilitada de los factores motrices e informacionales. El nivel de entrenamiento dificultado está asociado al desarrollo del límite fisiológico, a la intensidad baja de la zona de eficiencia anaeróbica y a la ejecución dificultada de los factores motores e informacionales. Además, debe considerarse el entrenamiento con sobrecargas y métodos resistidos y asistidos.

Se ha establecido un **calendario de competición** característico de estas modalidades deportivas; destacan dos competiciones principales (en marzo y agosto), siendo la última la más relevante.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional

Se establecen **2 macrociclos** coincidentes con las competiciones principales (figura 8.12). El segundo macrociclo se caracteriza por la menor duración del período preparatorio y un período competitivo que se prolonga más allá de la competición principal, considerando otras competiciones menos importantes.

El **período preparatorio general** incide especialmente en el nivel de

entrenamiento facilitado mediante la ejecución de métodos continuos y métodos fraccionados de intensidad moderada y en el nivel de entrenamiento resistido. Se comienza a trabajar al final de este período el nivel de entrenamiento específico con métodos continuos de menor duración y con los métodos fraccionados de intensidad elevada de mayor duración.

En el **período preparatorio especial** disminuye la proporción de tiempo dedicado al nivel de entrenamiento facilitado que progresivamente incide en métodos fraccionados de intensidad moderada con menor duración de las repeticiones. Aumenta el desarrollo del nivel de entrenamiento específico fundamentalmente mediante la práctica de métodos fraccionados de intensidad elevada que progresivamente se plantean con menor duración de las repeticiones. De esta forma, al disminuir la duración de las repeticiones se comienza a incidir en el nivel de entrenamiento dificultado desarrollando la intensidad baja de eficiencia anaeróbica y el VO_2 máx.

En el **período competitivo** se incide inicialmente en el desarrollo del nivel de entrenamiento específico y dificultado mediante el desarrollo de métodos fraccionados de intensidad elevada con gran variabilidad en la duración de las repeticiones de 1-10 min. El incremento de velocidad respecto a la de competición correspondiente al desarrollo del nivel de entrenamiento dificultado se considera para esta modalidad deportiva como la metodología del nivel de entrenamiento asistido. Al aproximarnos a las competiciones principales se incide prioritariamente en el nivel de entrenamiento específico mediante el desarrollo de métodos que simulen la competición.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo

Se establecen **4 macrociclos**, coincidiendo el segundo y el cuarto con las competiciones principales (figura 8.13). En estos macrociclos se incrementa la duración del mesociclo de realización y disminuye el tiempo dedicado al mesociclo de acumulación.

En el **mesociclo de acumulación** se desarrolla exclusivamente el nivel de entrenamiento facilitado mediante la ejecución de métodos continuos y métodos fraccionados de intensidad moderada, y el nivel de entrenamiento resistido mediante el desarrollo de métodos con sobrecargas y ejercicios específicos resistidos.

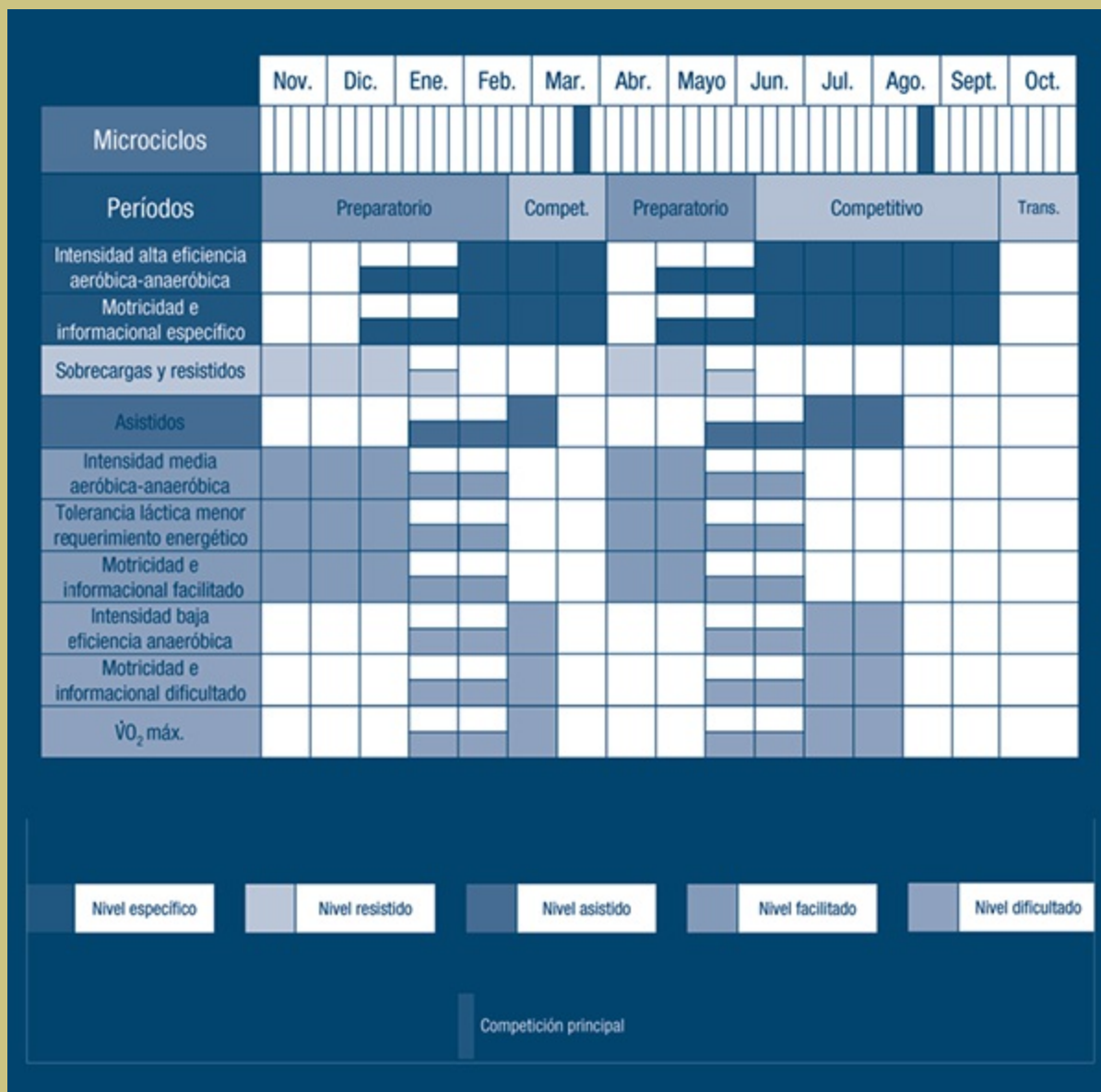


FIGURA 8.12. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación convencional en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad constante (p. ej., 5.000 m atletismo). Véase el texto para comprender la distribución en cada período y macrociclo de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

El **mesociclo de transformación** comienza con un trabajo exclusivo del nivel de entrenamiento específico mediante métodos fraccionados de intensidad elevada con repeticiones de muy larga duración. Este trabajo

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

prepara al deportista para la práctica posterior de este método con repeticiones de menor duración, incidiendo en el desarrollo del nivel de entrenamiento dificultado y asistido y del límite fisiológico.

Al comienzo del **mesociclo de realización** se continúa con el desarrollo del nivel de entrenamiento dificultado y asistido y del límite fisiológico mediante la práctica de métodos fraccionados de intensidad elevada con menor duración de las repeticiones. En la parte central y final de este mesociclo se incide nuevamente de forma exclusiva en el nivel de entrenamiento específico, pero con la práctica de métodos que simulen la competición.

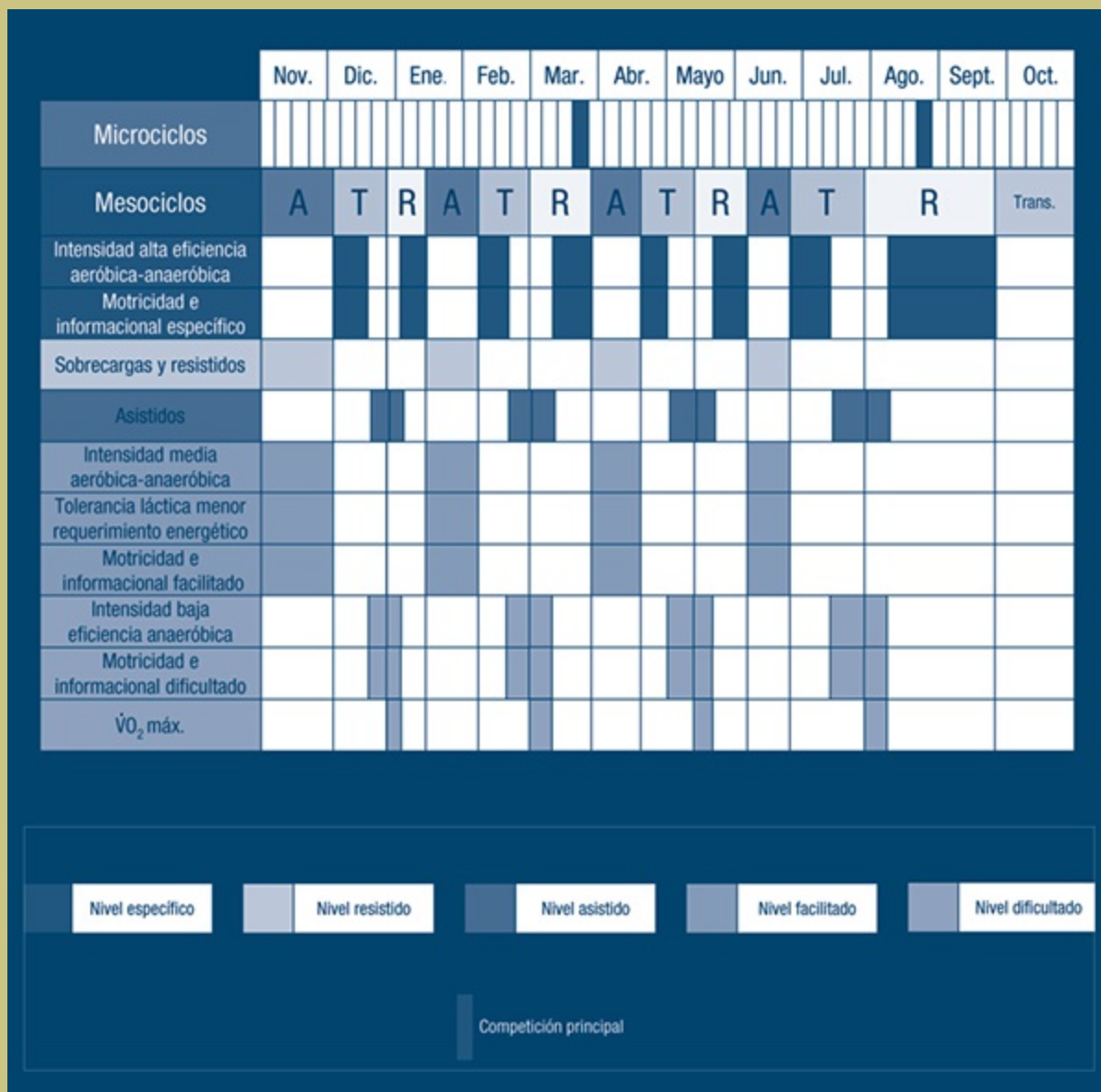


FIGURA 8.13. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad constante (p. ej., 5.000 m atletismo). A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización. Véase el texto para comprender la distribución en cada mesociclo y macrociclo de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

De acuerdo con los posibles efectos negativos que pudiera tener el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, se representa en la figura

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

8.14 un sistema de planificación para una competición de remo de 2.000 m (6-7 min) para que sirva de ejemplo de diferenciación del trabajo de estos dos objetivos. Se ha seleccionado el deporte de remo por considerar que es una de las modalidades de resistencia que requiere un mayor equilibrio en la proporción del trabajo de fuerza y de resistencia. Aunque la duración de la competición es inferior a la establecida para 5.000 m en atletismo, la zona metabólica de trabajo es la misma, la zona más elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica. En este caso, la prueba se realiza a una velocidad más cercana a la VAM. Desde esta perspectiva, como cabe comprobar, los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento son equivalentes, exceptuando una mayor proporción del trabajo de fuerza. Durante el mesociclo de acumulación se trabaja en la primera parte la fuerza resistencia con cargas altas, y en la segunda parte, la resistencia facilitada. La primera parte del mesociclo de transformación se orienta al desarrollo de la fuerza resistencia con cargas medias y la fuerza resistencia específica resistida. La segunda parte del mesociclo de transformación se orienta al desarrollo de la resistencia, inicialmente el nivel de entrenamiento específico, y en la última parte, el nivel de entrenamiento dificultado. Este nivel implica un desplazamiento a una velocidad superior a la de competición, por lo que simultáneamente se incide en el desarrollo de la fuerza resistencia específica asistida. En el inicio del mesociclo de realización se realizan los entrenamientos más exigentes, que se corresponden simultáneamente con el desarrollo del VO_2 máx. El nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulan la competición es exclusivo de las partes central y final del mesociclo de realización.

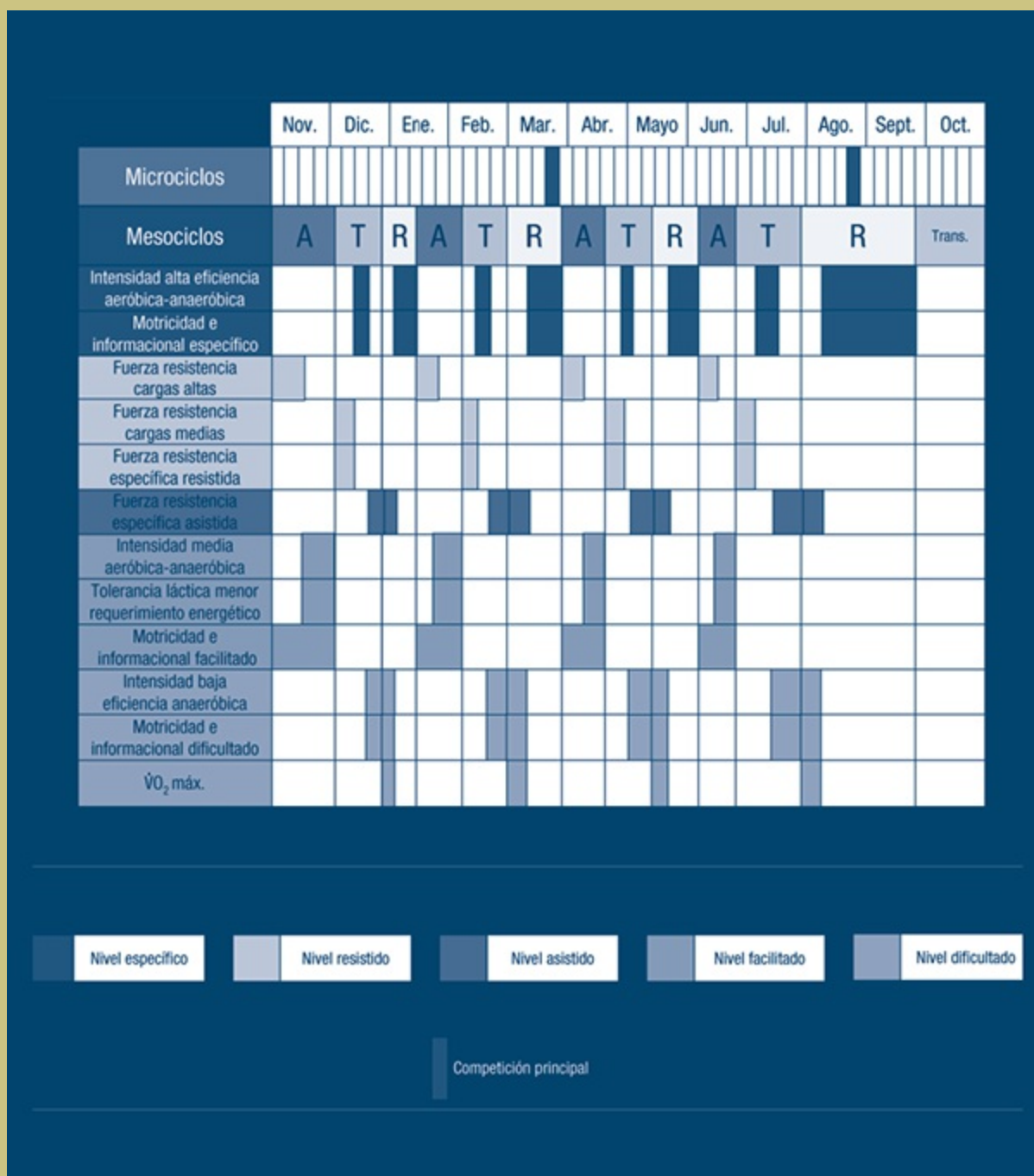


FIGURA 8.14. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo para una competición de remo de 2.000 m (6-7 min) separando el trabajo de resistencia y de fuerza. A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; C: mesociclo de transformación. En relación con la distribución mostrada en la figura anterior, se ha separado el trabajo asociado a la fuerza y a la resistencia en los mesociclos de acumulación y transformación.

Original del autor.

3.3. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad variable

Mapa conceptual de los factores de rendimiento y calendario de competición

En los **esfuerzos ejecutados a intensidad variable**, el **mapa conceptual de los factores de rendimiento** varía significativamente en función de la modalidad deportiva. Los sistemas de planificación mostrados consideran como **ejemplo el ciclismo de ruta**, modalidad deportiva analizada específicamente en el capítulo 4. Brevemente, recordemos que el ciclismo de ruta requiere el desarrollo de todas las zonas metabólicas (eficiencia aeróbica, eficiencia aeróbica-anaeróbica y eficiencia anaeróbica) y de sus correspondientes límites fisiológicos (V_{Uan} , VO_2 máx. y potencia aláctica y láctica). El desarrollo de las distintas zonas metabólicas debe realizarse también previo trabajo en zonas metabólicas de menor intensidad. Además, se requiere desarrollar la capacidad de recuperación entre esfuerzos de elevada exigencia que se suceden con períodos de distinta duración. Debe considerarse también la motricidad específica, fundamentalmente asociada a la economía del esfuerzo dependiente de la frecuencia de pedaleo y de la posición sobre la bicicleta y de la habilidad en los descensos, y los procesos informacionales fundamentalmente asociados a los condicionantes tácticos habituales en competición. La optimización motriz e informacional en competición debe basarse en un trabajo previo de base o facilitado que debe considerar el análisis de variables fisiológicas y biomecánicas. Desde la perspectiva de la fuerza, se considera el trabajo con sobrecargas y el trabajo específico resistido y asistido. Se necesita también el desarrollo de la tolerancia láctica con requerimiento energético inferior al de competición con el fin de preparar al deportista para la práctica de los métodos de trabajo más exigentes. Otras directrices que se han establecido para desarrollar el nivel de entrenamiento facilitado y dificultado (véanse tablas 4.36-4.39) pueden considerarse incluidas en el desarrollo de métodos que simulan la competición.

El **calendario de competición** del ciclismo de ruta varía considerablemente en función de los objetivos de los deportistas. Por ello se ha seleccionado el calendario real de un ciclista que tiene como competiciones principales el Tour de Francia (julio) y la Vuelta a España (septiembre). Entre los meses de marzo y mayo, el deportista compite en cuatro Vueltas de una semana, y en el mes de junio, en cuatro competiciones de un día.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional

Se establece únicamente **1 macrociclo** con un período preparatorio de 6 meses y medio, coincidiendo la parte especial con las tres primeras Vueltas de una semana, y un período competitivo que comienza 7 semanas antes del Tour de Francia y finaliza con la Vuelta a España (figura 8.15).

El **período preparatorio general** incide especialmente en el desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica y su límite fisiológico (VUan) mediante la práctica de métodos continuos de larga duración e intensidad elevada y moderada. Simultáneamente se desarrolla la tolerancia láctica con requerimiento energético inferior al precisado en la competición en las fases de mayor exigencia mediante la práctica de métodos fraccionados de intensidad moderada y larga duración. También se incide en el trabajo con sobrecargas y en la práctica de métodos resistidos asociados fundamentalmente a la variación del desarrollo de la bicicleta. Es en este período cuando se deben realizar las principales modificaciones asociadas a los procesos motores e informacionales según los datos obtenidos en análisis fisiológicos y biomecánicos. Al final de este período se introducen los primeros entrenamientos de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica.

En el **período preparatorio especial** se incide inicialmente en el desarrollo de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica mediante el desarrollo de métodos continuos de elevada intensidad y menor duración, y métodos fraccionados de intensidad elevada y larga duración. En la segunda parte de este período se intensifica el entrenamiento reduciendo progresivamente la duración de las repeticiones durante la práctica de métodos fraccionados de intensidad elevada, lo que permite desarrollar la zona de eficiencia anaeróbica y del VO_2 máx. Se asume el desarrollo de la potencia aláctica y láctica cuando se ejecutan repeticiones de una duración máxima de 10-15 seg.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En este período también hay que practicar métodos fraccionados a intensidad elevada y distinta duración de las repeticiones, con recuperación incompleta para desarrollar la capacidad de recuperación del deportista. Debemos considerar en algunos entrenamientos el trabajo en la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y en la zona de eficiencia anaeróbica, previo trabajo en zonas metabólicas de menor intensidad. Desde la perspectiva de la fuerza, en este período disminuye progresivamente el trabajo con sobrecargas y resistido y se incide en un trabajo específico asistido asociado fundamentalmente a la frecuencia de pedaleo. También disminuye progresivamente el tiempo dedicado al desarrollo de la tolerancia láctica con requerimiento energético inferior al precisado en las fases de la competición de mayor exigencia, ejecutándose repeticiones de corta y media duración. Es importante destacar que en este período el deportista participa en tres competiciones no prioritarias de una duración de 1 semana. En la primera competición se debe instruir al deportista para mantenerse en la zona de eficiencia aeróbica y a intensidades medias y bajas de la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica; en la segunda competición es importante que el deportista se someta también a esfuerzos en la zona más elevada de eficiencia aeróbica-anaeróbica, y en la tercera competición, a esfuerzos en la zona de eficiencia anaeróbica.

El **período de competición** tiene cuatro partes claramente diferenciadas: un período de 7 semanas previo a la primera competición importante, 3 semanas de competición en el Tour de Francia, un período de 6 semanas previo a la competición en la Vuelta a España y 3 semanas de competición en la Vuelta a España. Lógicamente, durante las 6 semanas de competición principal se establece el desarrollo de todos los factores de rendimiento específicos determinantes del rendimiento. En las 7 semanas previas al Tour de Francia también se establece prioritariamente un entrenamiento orientado al desarrollo de la globalidad de factores que determinan el rendimiento en competición mediante la práctica de métodos fraccionados y continuos que simulan la competición. Estos métodos de trabajo deben incidir fundamentalmente en las zonas de mayor exigencia y en la capacidad de recuperación del deportista con sesiones de entrenamiento no excesivamente largas y con suficiente período de recuperación entre sesiones. Hay que considerar que en este período se ha establecido una competición de una semana en la que el deportista debe ser instruido para trabajar en todas las zonas metabólicas. Al inicio de este período cabe considerar el trabajo con

sobrecargas, los métodos resistidos y asistidos y la práctica de métodos fraccionados a intensidad moderada con una duración corta de las repeticiones. Durante las 6 semanas que transcurren entre las dos competiciones principales, el objetivo prioritario es la recuperación del deportista y el mantenimiento del nivel de prestación. Por ello, inicialmente sólo se plantean sesiones de entrenamiento muy cortas y con descanso suficiente orientadas al mantenimiento de las adaptaciones con menor efecto residual, la zona de eficiencia anaeróbica y la frecuencia de pedaleo. En las 2 semanas previas a la Vuelta a España se plantean entrenamientos fraccionados y continuos que simulan la competición, con un período de descanso completo entre sesiones.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo

Se establecen **3 macrociclos** claramente diferenciados en su estructura y en la distribución de los objetivos de entrenamiento (figura 8.16). El primer macrociclo termina con la primera competición en una Vuelta de una semana. El segundo y tercer macrociclos finalizan con las dos competiciones principales, Tour de Francia y Vuelta a España. Destaquemos que, debido al poco tiempo que transcurre entre las dos competiciones principales, el tercer macrociclo carece de mesociclo de acumulación. Consideramos que su ausencia no es relevante debido a que previamente durante la competición en el Tour de Francia el deportista ha desarrollado los objetivos que se persiguen en el mesociclo de acumulación. Además, estos objetivos de trabajo tienen un elevado efecto residual, lo que probablemente permite mantener sus adaptaciones durante el tiempo que transcurre entre el Tour de Francia y la Vuelta a España.

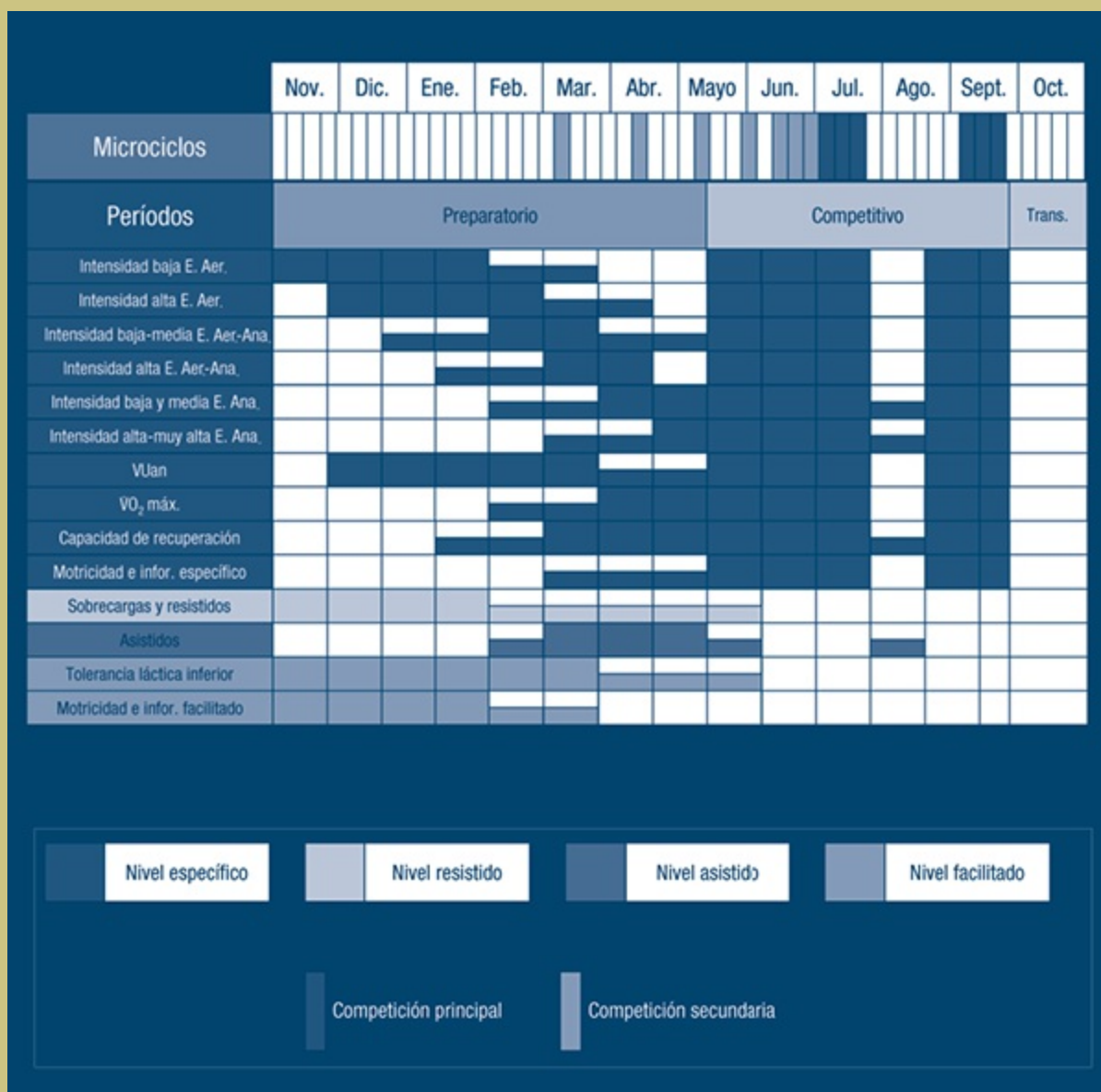


FIGURA 8.15. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación convencional en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad variable (p. ej., ciclismo de ruta). Véase el texto para comprender la distribución en cada período de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

En el **mesociclo de acumulación** se trabaja inicialmente la intensidad baja de la zona de eficiencia aeróbica y posteriormente la intensidad más elevada

de esta zona metabólica y su límite fisiológico (VUan). Durante todo el mesociclo se incide en el desarrollo de la tolerancia láctica mediante métodos fraccionados desarrollados a intensidad moderada, disminuyendo la duración de las repeticiones en el transcurso de este período de entrenamiento. En este mesociclo también se plantea el trabajo con sobrecargas, los métodos resistidos y el desarrollo facilitado motor e informacional. En el segundo macrociclo, el deportista tiene una competición de 1 semana durante el mesociclo de acumulación. En esta competición, el deportista debe ser instruido para que realice esfuerzos en las zonas metabólicas de menor intensidad.

Durante el **mesociclo de transformación** del primer macrociclo se plantea una intensificación progresiva del estímulo de entrenamiento sobre la base del trabajo previo realizado en el mesociclo de acumulación, desarrollando en la primera parte la zona de eficiencia aeróbica-anaeróbica y en la segunda la zona de eficiencia anaeróbica y el VO_2 máx. Algunos de estos entrenamientos deben efectuarse con trabajo previo en zonas metabólicas de menor intensidad. También se incide prioritariamente en la parte final de este mesociclo en el entrenamiento asistido y en la capacidad de recuperación. La estructuración de los objetivos de entrenamiento en el mesociclo de transformación del segundo macrociclo es similar aunque condicionada por la participación en dos competiciones de 1 semana. Estas competiciones son de utilidad para trabajar en fatiga simultáneamente distintas zonas metabólicas. En la primera competición, el deportista debe ser instruido para trabajar en las zonas de eficiencia aeróbica y aeróbica-anaeróbica, y en la segunda competición se incluirá también el trabajo en la zona de eficiencia anaeróbica. Debido a estas 2 semanas de competición, en el resto del tiempo el trabajo debe incidir en el desarrollo sin fatiga previa de la zona metabólica correspondiente. El mesociclo de transformación del tercer macrociclo corresponde a la primera parte del tiempo que transcurre entre el Tour de Francia y la Vuelta a España. Por las razones expuestas anteriormente, los objetivos de entrenamiento son los mismos que los establecidos para este período en la planificación convencional.

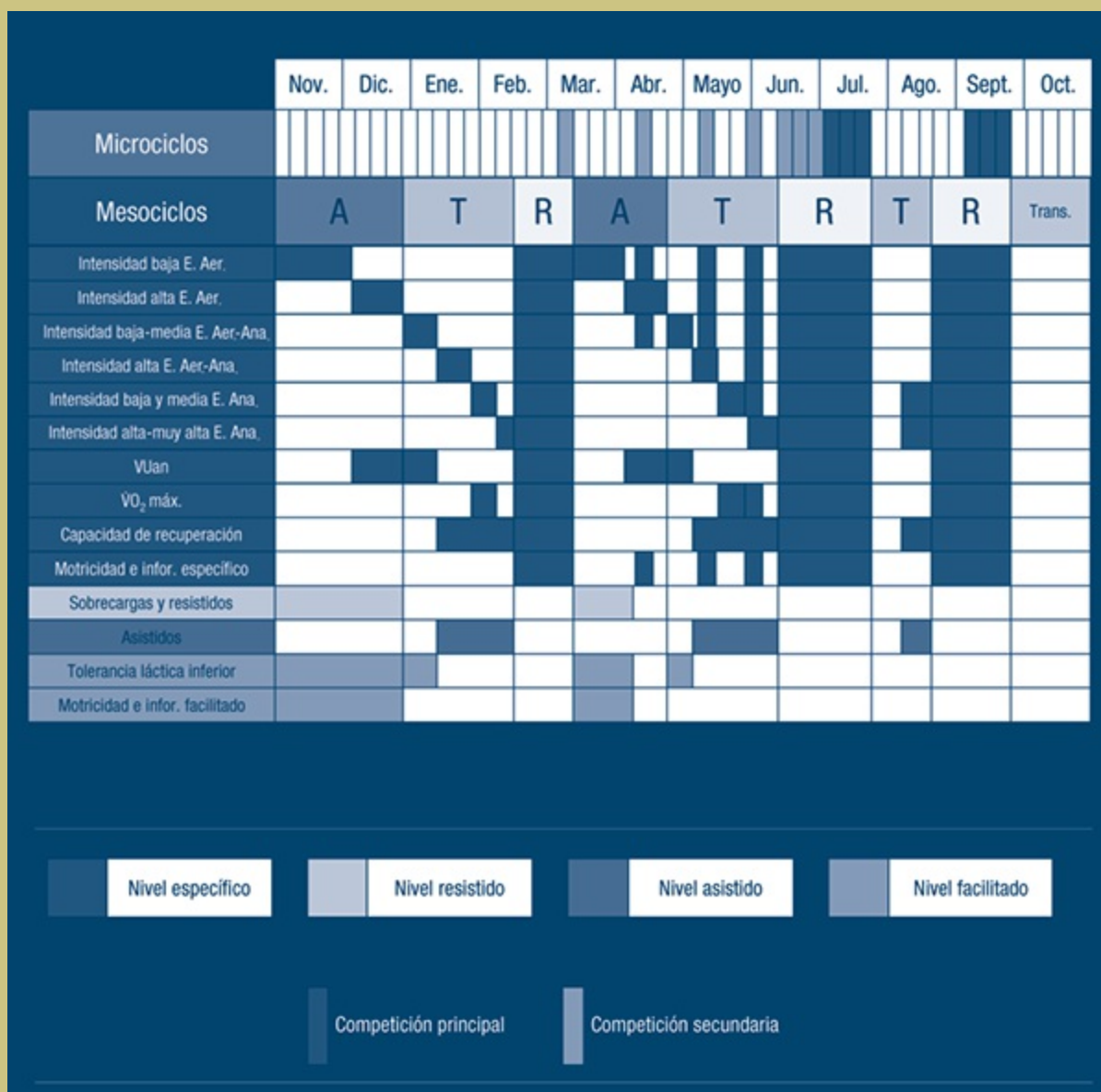


FIGURA 8.16. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos ejecutados a intensidad variable (ej. ciclismo de ruta). A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización. Véase el texto para comprender de la distribución en cada mesociclo y macrociclo de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

En el **mesociclo de realización**, de forma equivalente a lo establecido para el período competitivo de una planificación convencional, hay que desarrollar

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

simultáneamente todos los factores determinantes del rendimiento en competición mediante métodos fraccionados y continuos que simulen la competición, considerando especialmente en las semanas previas a las competiciones principales que la duración de las sesiones no sea excesivamente larga y que haya descanso suficiente entre sesiones.

3.4. Deportes que requieren la optimización de la resistencia en esfuerzos intermitentes

Mapa conceptual de los factores de rendimiento y calendario de competición

Los ejemplos de planificación mostrados consideran las características de la mayoría de los deportes que requieren la optimización de la resistencia en **esfuerzos intermitentes**, la resistencia a la fuerza explosiva. Aunque en la mayoría de los esfuerzos intermitentes el calendario de competición exige un elevado nivel de prestación deportiva durante toda la temporada de competición, en algunas modalidades deportivas (p. ej., deportes de combate, algunos deportes de raqueta, deportes compositivos) o en circunstancias concretas es necesario un sistema de planificación orientado a alcanzar el máximo nivel de prestación en momentos concretos. En las modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia a la fuerza explosiva se ha establecido el siguiente **mapa conceptual de factores de rendimiento**: nivel de entrenamiento específico (fuerza explosiva específica, resistencia a la fuerza explosiva específica, movilidad dinámica específica, motricidad específica y factor informacional específico), nivel de entrenamiento resistido (sobrecargas altas y medias y ejercicios específicos resistidos), nivel de entrenamiento asistido (ejercicios específicos asistidos), nivel de entrenamiento facilitado (resistencia facilitada, movilidad estática y dinámica con rango del movimiento inferior al de competición, motricidad facilitada y factor informacional facilitado) y nivel de entrenamiento dificultado (resistencia dificultada, motricidad dificultada y factor informacional dificultado).

Se ha establecido un **calendario de competición** con una única competición principal en el mes de agosto.

Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación tradicional

Se establece sólo **1 macrociclo** caracterizado por un período preparatorio de 6 meses y medio y un período competitivo de 4 meses y medio que finaliza con la competición principal (figura 8.17). Este tipo de planteamiento probablemente es adecuado únicamente para deportistas con baja reserva actual de adaptación.

El **período preparatorio general** incide especialmente en el desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado y en el trabajo con sobrecargas altas. En este período se introduce progresivamente el trabajo con sobrecargas medias y los ejercicios específicos resistidos, y finaliza con los primeros entrenamientos del nivel de entrenamiento específico.

En el **período preparatorio específico** disminuye progresivamente la proporción de tiempo dedicado al desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado, incidiendo en el nivel de entrenamiento específico que permite al deportista comenzar al final de este período con el nivel de entrenamiento dificultado. El trabajo con sobrecargas medias y los ejercicios específicos resistidos constituyen la base principal del entrenamiento de fuerza explosiva durante este período.

La parte inicial del **período competitivo** incide prioritariamente en el nivel de entrenamiento dificultado y en el nivel de entrenamiento específico, y se mantiene, aunque en menor proporción, el trabajo con sobrecargas medias y los ejercicios específicos resistidos. En la parte final del período competitivo, al aproximarnos a la competición principal, disminuye el tiempo dedicado al nivel de entrenamiento dificultado y se incide prioritariamente en el nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición. El nivel de entrenamiento asistido se desarrolla durante todo el período competitivo.

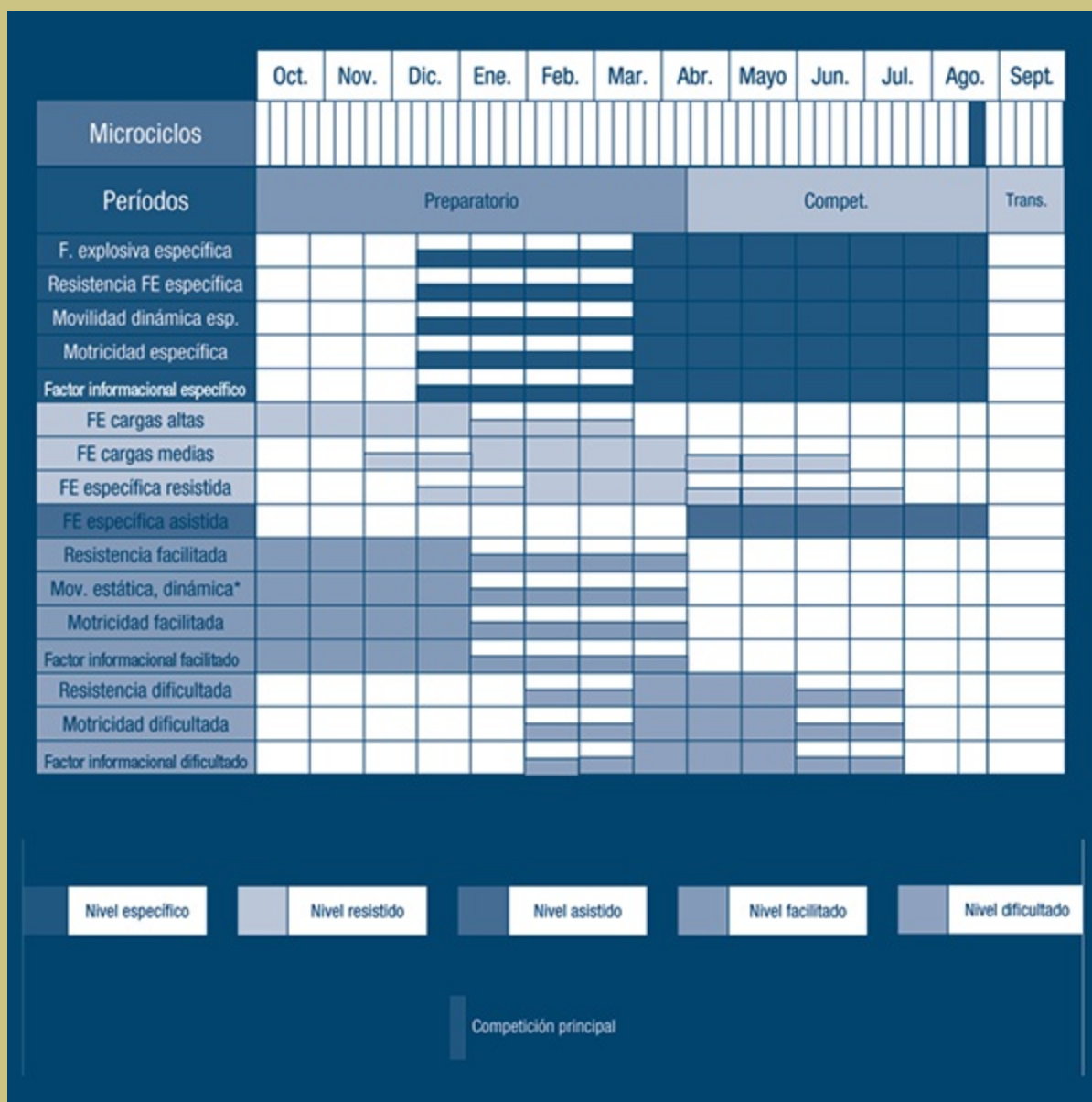


FIGURA 8.17. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación convencional en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia a la fuerza explosiva. *Movilidad dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición. Véase el texto para comprender la distribución en cada período de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Original del autor.

Distribución de los factores de rendimiento en un

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

sistema de planificación contemporáneo

Se establecen **3 macrociclos** coincidiendo el último con la competición principal (figura 8.18). Progresivamente se incrementa la duración del mesociclo de realización y disminuye la del mesociclo de acumulación.

En el **mesociclo de acumulación** se desarrolla exclusivamente el nivel de entrenamiento facilitado y la fuerza explosiva con sobrecargas altas.

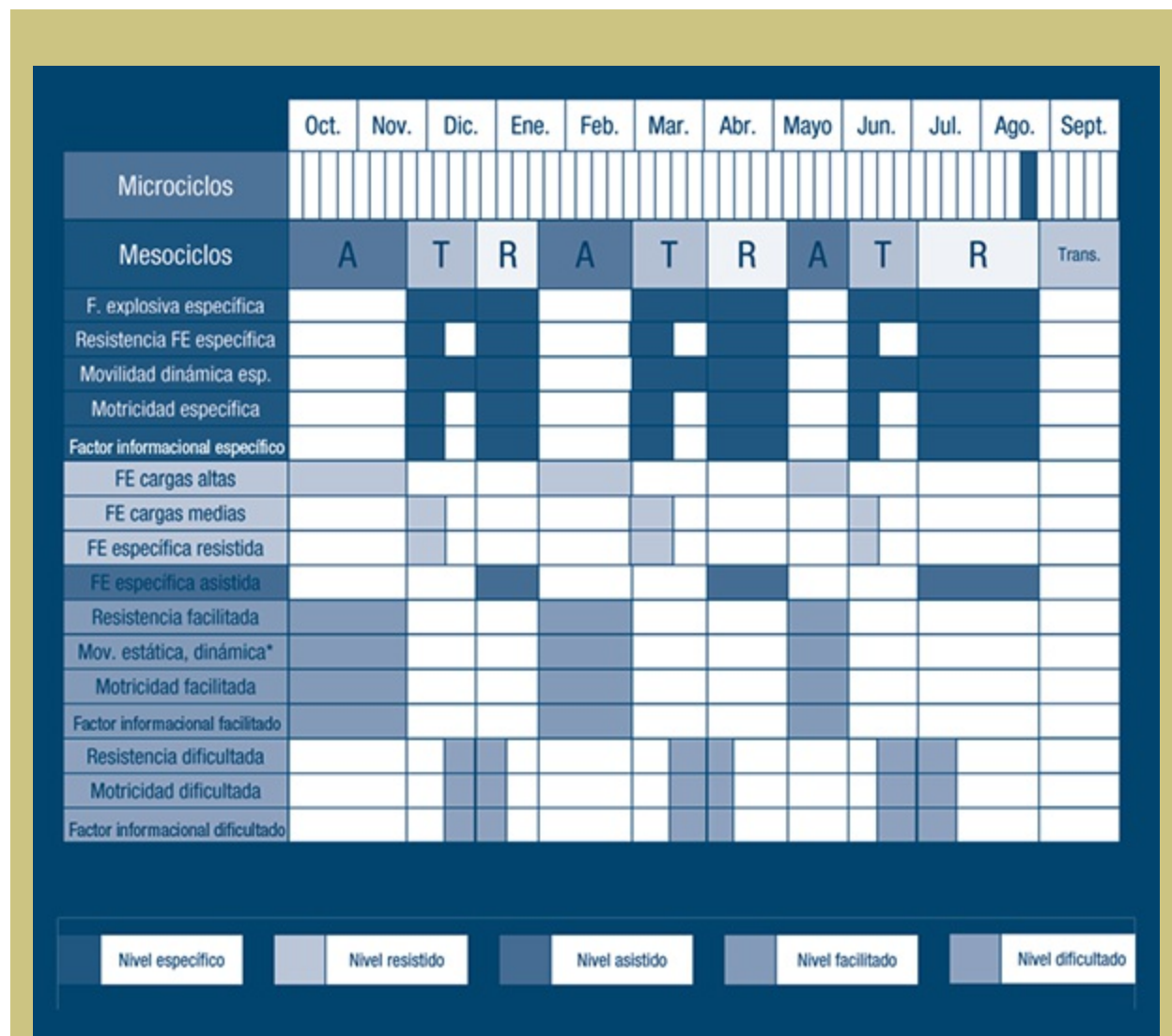


FIGURA 8.18. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia a la fuerza explosiva. A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización; * Movilidad dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición. Véase el texto para comprender la distribución en cada mesociclo y macrociclo de los factores asociados a los distintos niveles de entrenamiento en función del calendario de competición.

Al comienzo del **mesociclo de transformación** se incide exclusivamente en el nivel de entrenamiento específico con el fin de adaptar al deportista para que pueda afrontar al final del mesociclo los estímulos de entrenamiento más exigentes correspondientes al nivel de entrenamiento dificultado. Respecto a la fuerza explosiva, inicialmente se transfiere el trabajo previo con cargas altas al trabajo con cargas medias y con ejercicios específicos resistidos. La necesidad de trabajar la resistencia a la fuerza explosiva específica al inicio del mesociclo determina la necesidad de un trabajo simultáneo de fuerza explosiva específica, la cual es el único contenido de fuerza al final de este mesociclo.

En la parte inicial del **mesociclo de realización** se establecen los entrenamientos más exigentes del nivel de entrenamiento dificultado. Simultáneamente se desarrolla el nivel de entrenamiento específico que progresivamente a la duración del mesociclo debe considerar la práctica de métodos que simulan la competición. En este mesociclo también se incide en el trabajo de fuerza explosiva con ejercicios asistidos.

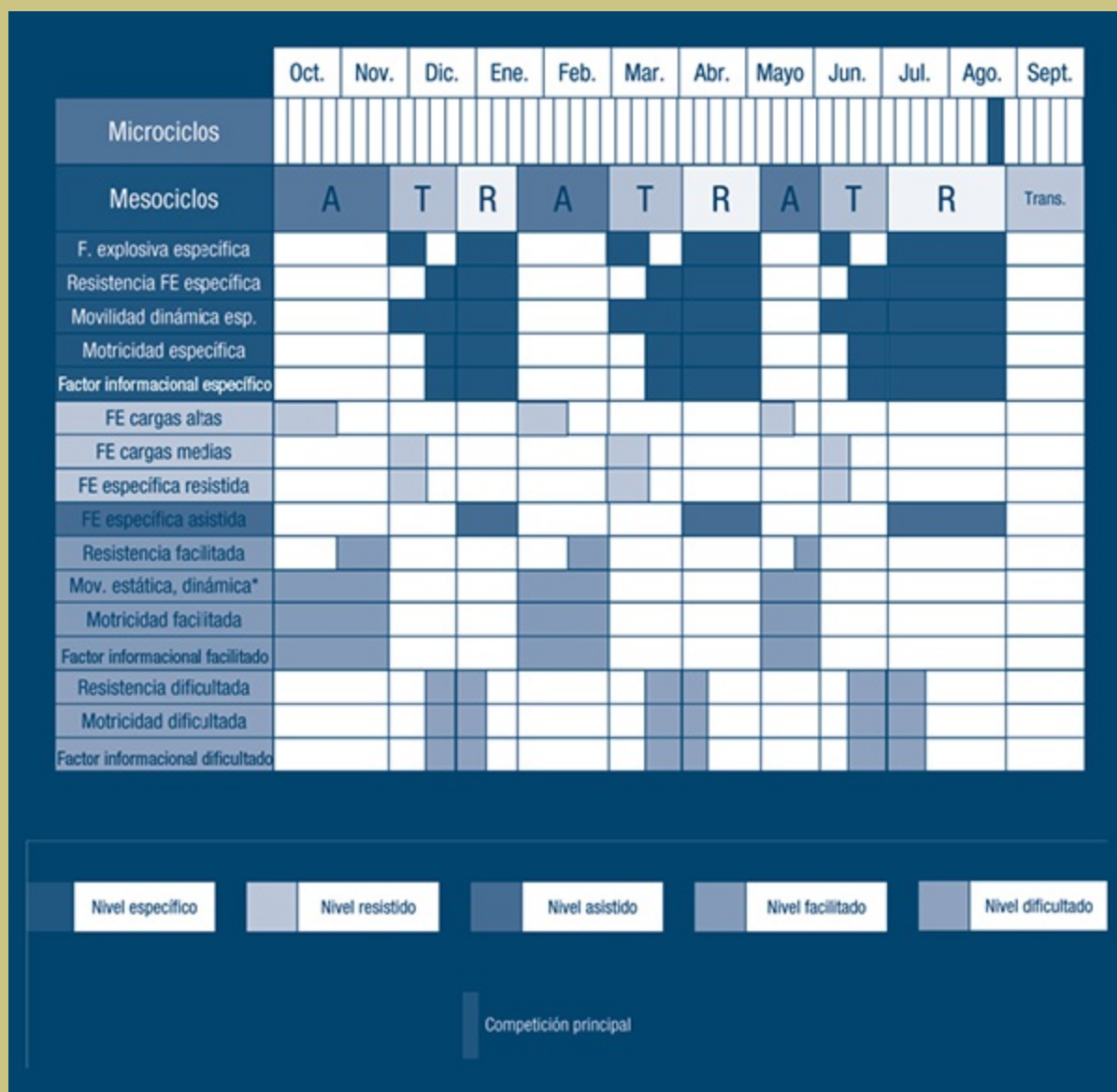


FIGURA 8.19. Distribución de los factores de rendimiento en un sistema de planificación contemporáneo en modalidades deportivas que requieren la optimización de la resistencia a la fuerza explosiva separando el trabajo de resistencia y de fuerza. A: mesociclo de acumulación; T: mesociclo de transformación; R: mesociclo de realización; * Movilidad dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición. En relación con la distribución mostrada en la figura anterior, se ha separado el trabajo asociado a la fuerza y a la resistencia en los mesociclos de acumulación y transformación.

Original del autor.

De forma equivalente a lo establecido para esfuerzos continuos que

requieren un elevado trabajo de fuerza y de resistencia, es posible establecer en períodos diferentes el trabajo de estas manifestaciones para la optimización de los esfuerzos intermitentes (figura 8.19). Así, en el mesociclo de acumulación se trabaja inicialmente la fuerza con sobrecargas altas, y en la segunda parte, la resistencia facilitada. La primera parte del mesociclo de transformación se orienta al desarrollo de la fuerza explosiva con cargas medias, resistidas y específicas, y la segunda parte, al desarrollo de la resistencia a la fuerza explosiva específica, incidiendo también progresivamente en el nivel de entrenamiento dificultado de resistencia. En el mesociclo de realización se mantienen los mismos objetivos, los entrenamientos más exigentes del nivel de entrenamiento dificultado al principio del mesociclo y el nivel de entrenamiento específico durante todo el mesociclo mediante métodos que simulen la competición. La fuerza explosiva específica y asistida debe ser objeto de entrenamiento durante todo el mesociclo debido a la importancia que tiene para el rendimiento considerando su escaso efecto residual.

Síntesis

- La mayoría de las modalidades deportivas requieren sistemas de planificación que permitan optimizar el rendimiento en competiciones puntuales.
- Los sistemas de planificación convencional y contemporáneo y la mayoría de otros sistemas descritos tradicionalmente en la literatura están diseñados para optimizar el rendimiento en competiciones puntuales.
- La elección de un determinado sistema de planificación, aunque puede ser dependiente de numerosos factores como el número y la secuencia de las competiciones y la variedad de objetivos de entrenamiento, se establece tradicionalmente según el nivel del deportista. Por ejemplo, un sistema de planificación convencional para deportistas con baja reserva actual y un sistema de planificación contemporánea para deportistas con elevada reserva actual.
- Aunque algunos de los principios establecidos en los distintos sistemas de planificación tienen sólida evidencia científica y/o empírica, otros argumentos están basados en concepciones teóricas coherentes. No hay

pruebas científicas del efecto diferencial de utilizar distintos sistemas de planificación y sus variantes ni entre deportistas de distinto nivel de rendimiento ni entre diferentes modalidades deportivas.

- Los ejemplos de planificación convencional y contemporánea mostrados en este apartado para distintas familias de deportes consideran el mapa conceptual de los factores de rendimiento, el calendario de competición y la distribución coherente de los niveles de entrenamiento.
- Además se establecen otros criterios generales, como el efecto acumulativo de entrenamiento que determina una menor duración en la parte final de la temporada de las estructuras orientadas al desarrollo de los niveles de entrenamiento facilitado y resistido, la proximidad de las competiciones principales que determina una mayor duración de las estructuras orientadas al desarrollo de los niveles de entrenamiento específico-competitivo y asistido, considerando además el período taper, y la posible interferencia del entrenamiento de resistencia y fuerza que determina distintos períodos para el desarrollo de sus respectivos niveles de entrenamiento facilitado y resistido.
- Los ejemplos de planificación mostrados pueden servir de referencia para las distintas familias de deportes, considerando su adaptación a las particularidades de cada deporte, deportista y calendario de competición.

Cuestionario de asimilación

1. Define el mapa conceptual de los factores de rendimiento que determinan los distintos niveles de entrenamiento para un deporte que requiera la optimización de la fuerza explosiva.
2. En el deporte seleccionado en la pregunta anterior establece la distribución de los factores de rendimiento en función del calendario real de competición siguiendo el modelo de planificación que consideres más adecuado.
3. Define el mapa conceptual de los factores de rendimiento que determinan los distintos niveles de entrenamiento para un deporte que requiera la optimización de la resistencia en un esfuerzo continuo ejecutado a intensidad constante.

- 4.** En el deporte seleccionado en la pregunta anterior establece la distribución de los factores de rendimiento en función del calendario real de competición siguiendo el modelo de planificación que consideres más adecuado.
- 5.** Define el mapa conceptual de los factores de rendimiento que determinan los distintos niveles de entrenamiento para un deporte que requiera la optimización de la resistencia en un esfuerzo continuo ejecutado a intensidad variable.
- 6.** En el deporte seleccionado en la pregunta anterior establece la distribución de los factores de rendimiento en función del calendario real de competición siguiendo el modelo de planificación que consideres más adecuado.
- 7.** Establece el mapa conceptual de los factores de rendimiento que determinan los distintos niveles de entrenamiento para un deporte que requiera la optimización de la resistencia a la fuerza explosiva.
- 8.** En el deporte seleccionado en la pregunta anterior señala la distribución de los factores de rendimiento en función del calendario real de competición siguiendo el modelo de planificación que consideres más adecuado.

4

Planificación para un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada

Alejandro Legaz-Arrese

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Disponer de ejemplos de referencia de la planificación en modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
- Disponer de los conocimientos suficientes para diseñar con coherencia un sistema de planificación basado en el calendario de competición y adaptado a las numerosas circunstancias que caracterizan las modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.

Índice:

[4.1. Período sin competiciones](#)

[4.2. Período competitivo](#)

[Síntesis](#)

[Cuestionario de asimilación](#)

Los sistemas y estructuras de planificación tradicionalmente utilizados para optimizar el rendimiento en momentos puntuales son difícilmente adaptables a modalidades deportivas que como el tenis o los deportes de equipo requieren un **óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada**. Como ejemplo mostramos un calendario de los partidos oficiales disputados por un equipo de fútbol en la temporada 2006-2007, observándose una duración del período competitivo de 42 semanas, que comprenden muchas semanas con dos partidos (figura 8.20). Es objetivo, por tanto, de este apartado establecer diferentes directrices y estrategias que permitan, en la medida de lo posible, mantener un elevado nivel de prestación durante largos períodos competitivos. Establecemos como **ejemplo la planificación para deportes de equipo**, considerando la duración y características del período **sin competiciones** y del período **competitivo**, así como su **mapa conceptual de factores de rendimiento**: nivel de entrenamiento específico (fuerza explosiva específica, resistencia a la fuerza explosiva específica, movilidad dinámica específica, motricidad específica y factor informacional específico), nivel de entrenamiento resistido (sobrecargas altas y medias y ejercicios específicos resistidos), nivel de entrenamiento asistido (ejercicios específicos asistidos), nivel de entrenamiento facilitado (resistencia facilitada, movilidad estática y dinámica con amplitud del movimiento inferior a la de competición, motricidad facilitada y factor informacional facilitado) y nivel de entrenamiento dificultado (resistencia dificultada, motricidad dificultada y factor informacional dificultado).

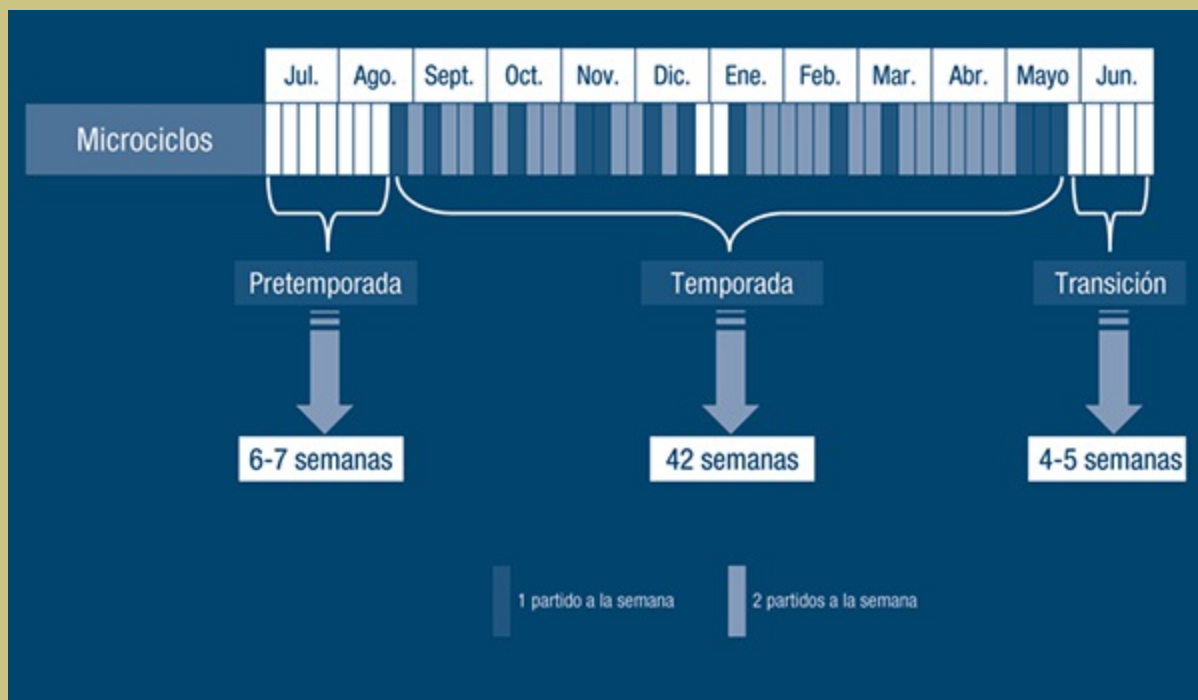


FIGURA 8.20. Ejemplo del calendario de competición de un equipo de fútbol en la temporada 2006-2007. En la temporada de competición de algunos equipos de fútbol predominan las semanas en las que hay que afrontar dos competiciones. Véanse con la ayuda del texto las dificultades y posibles soluciones para desarrollar los distintos niveles de entrenamiento.

Original del autor.

4.1. Período sin competiciones

El **período sin competiciones**, excluido el período de transición, tiene una duración variable entre las distintas modalidades deportivas, siendo lo habitual una duración de **5-7 semanas** en la mayoría de los deportes de equipo (Moliner, 2008). El período sin competiciones debe ser considerado de forma general como 1 macrociclo, incidiendo en **todos los niveles de entrenamiento** debido a que tiene como objetivo alcanzar un alto nivel de prestación para afrontar las primeras competiciones. Pero, además, en este período se debe alcanzar las principales adaptaciones de reserva que permitan al deportista afrontar el largo período competitivo. Esto implica una **orientación prioritaria** al entrenamiento con sobrecargas y al nivel facilitado motor y factor informacional. Este aspecto es fundamental si

consideramos la problemática para trabajar los factores de rendimiento básicos durante el período competitivo debido a la necesidad de priorizar el entrenamiento específico que permite un mayor nivel de prestación en la competición. Este doble objetivo se ve dificultado si consideramos la gran variedad de factores que determinan el rendimiento en estas modalidades deportivas.

En la figura 8.21 se muestra un ejemplo de la distribución de los factores de rendimiento en el macrociclo que integra el período sin competición, tomando como referencia el mapa conceptual de los factores de rendimiento de los deportes de equipo. Para facilitar la comprensión se establece la terminología de los mesociclos característicos de un sistema de planificación contemporánea (acumulación, transformación y realización), aunque la incidencia en el desarrollo de los distintos niveles de entrenamiento difiere significativamente de la establecida previamente para este sistema de planificación. La duración de los mesociclos de acumulación (3 semanas), transformación (2 semanas) y realización (2 semanas) debe servir únicamente como referencia para la duración habitual de este período.

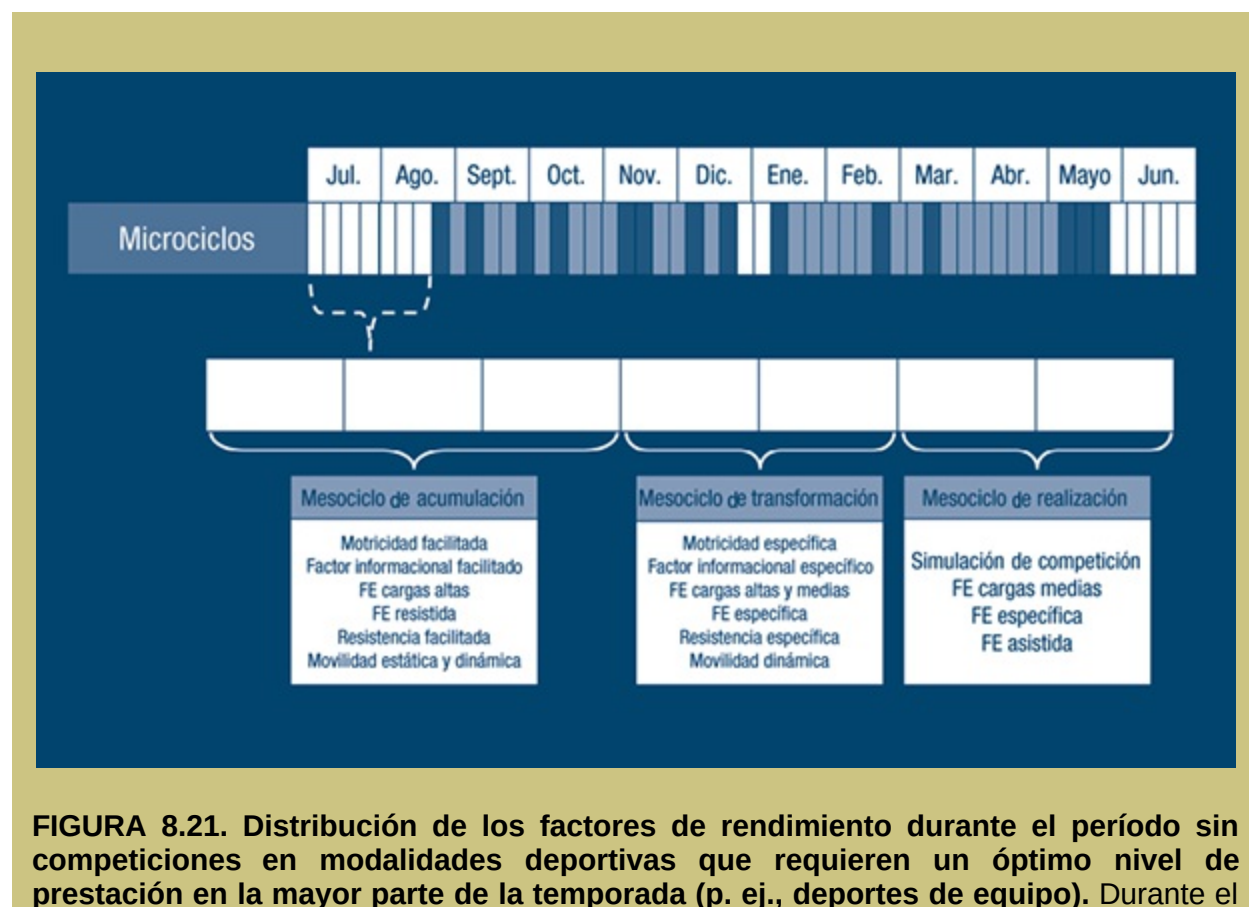


FIGURA 8.21. Distribución de los factores de rendimiento durante el período sin competiciones en modalidades deportivas que requieren un óptimo nivel de prestación en la mayor parte de la temporada (p. ej., deportes de equipo). Durante el

período sin competición se requiere establecer un macrociclo que garantice un óptimo nivel de prestación en las primeras competiciones. Véanse los objetivos de trabajo establecidos para cada mesociclo y considérense con la ayuda del texto otras posibilidades de distribución en función de los numerosos factores que pueden determinar variantes sobre esta propuesta.

Original del autor.

Durante el **mesociclo de acumulación** se debe incidir exclusivamente en el nivel de entrenamiento facilitado y resistido. En el **mesociclo de transformación** se incide en el nivel de entrenamiento específico, y en el **mesociclo de realización**, en la integración de todos los factores mediante métodos que simulen la competición y con la participación en competiciones no oficiales. Es destacable que el **entrenamiento de fuerza** con sobrecargas se mantiene durante todo el macrociclo con el fin de disponer de un tiempo adecuado de trabajo que permita obtener las adaptaciones que induzcan niveles óptimos de fuerza que deben ser mantenidos durante todo el período de competición, y el fortalecimiento de las distintas estructuras que permitan afrontar con menor riesgo de lesión el entrenamiento específico predominante en el período competitivo. En este sentido, el entrenamiento de fuerza debe priorizar el entrenamiento de resistencia, considerando además que el desarrollo de esta capacidad es inherente a la utilización de la mayoría de los métodos que simulan la competición. También es destacable que el **nivel de entrenamiento dificultado** no se ha considerado objeto de trabajo durante el período sin competiciones, considerando que los deportistas no deben alcanzar su mayor nivel de prestación al final de este período. Esto permite además priorizar los niveles de entrenamiento facilitado y resistido, que requieren períodos más largos de trabajo para obtener las adaptaciones deseadas y que, atendiendo al calendario de competición, difícilmente pueden ser desarrollados con el número suficiente de sesiones en el período de competición.

La **estructura y distribución de los distintos niveles de entrenamiento** durante el período sin competición deben diferir significativamente de las mostradas en la figura 8.21 en función de **numerosos condicionantes**. Para los equipos o jugadores que por diferentes circunstancias tienen una competición determinante para el resto de la temporada en el inicio del período de competición, se debe incidir en mayor medida en el nivel de entrenamiento específico e incluir el nivel de entrenamiento dificultado. Aunque en menor medida esto es aplicable también a los equipos o jugadores

para los que, por las características del inicio del calendario de competición (p. ej., rivales de similar nivel de rendimiento) o por circunstancias psicológicas, se decida que han de obtener un alto nivel de prestación en el inicio de la temporada. Los equipos con importantes cambios en su composición, tanto de jugadores como de técnicos, deben priorizar en mayor medida el nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional. También son modificables la estructura y distribución de los distintos niveles de entrenamiento en función de las características del sistema de competición. En las modalidades deportivas caracterizadas por un sistema de *play-off* al final de la temporada se debe incidir todavía en mayor medida en el nivel de entrenamiento facilitado y resistido, especialmente en aquellos equipos en los que por su nivel de rendimiento no vaya a variar significativamente su clasificación por no estar en un nivel óptimo de prestación al principio del calendario de competición. En los equipos con mayor homogeneidad del nivel de rendimiento de sus jugadores y/o con mayor número de jugadores se puede orientar el entrenamiento para que algunos jugadores alcancen un mayor nivel de prestación en el inicio del período de competición y otros prioricen el nivel de entrenamiento facilitado y resistido. En este sentido, también deben retrasar el nivel de entrenamiento específico y dificultado los jugadores que se prevea que van a participar menos tiempo en el inicio de la temporada de competición, especialmente si son jugadores jóvenes, con el fin de permitirles un mayor desarrollo individual.

4.2. Período competitivo

En el análisis realizado por Moliner (2008) sobre los deportes de equipo se observa que en España el **período competitivo**, considerando la duración y el número de partidos de competición, difiere significativamente entre deportes, equipos de un mismo deporte y jugadores. Por ejemplo, el **número de competiciones** (partidos) es significativamente superior en balonmano, en baloncesto y especialmente en fútbol respecto a deportes como fútbol sala, voleibol y hockey sobre hierba. El número de partidos es superior en los equipos mejor clasificados debido a que disputan, además de la competición nacional, competiciones internacionales. Asimismo, algunos jugadores de estos equipos disputan un mayor número de partidos al participar con sus respectivas selecciones nacionales. Debido al carácter de eliminatorias de algunas competiciones, el número total de partidos no se puede establecer

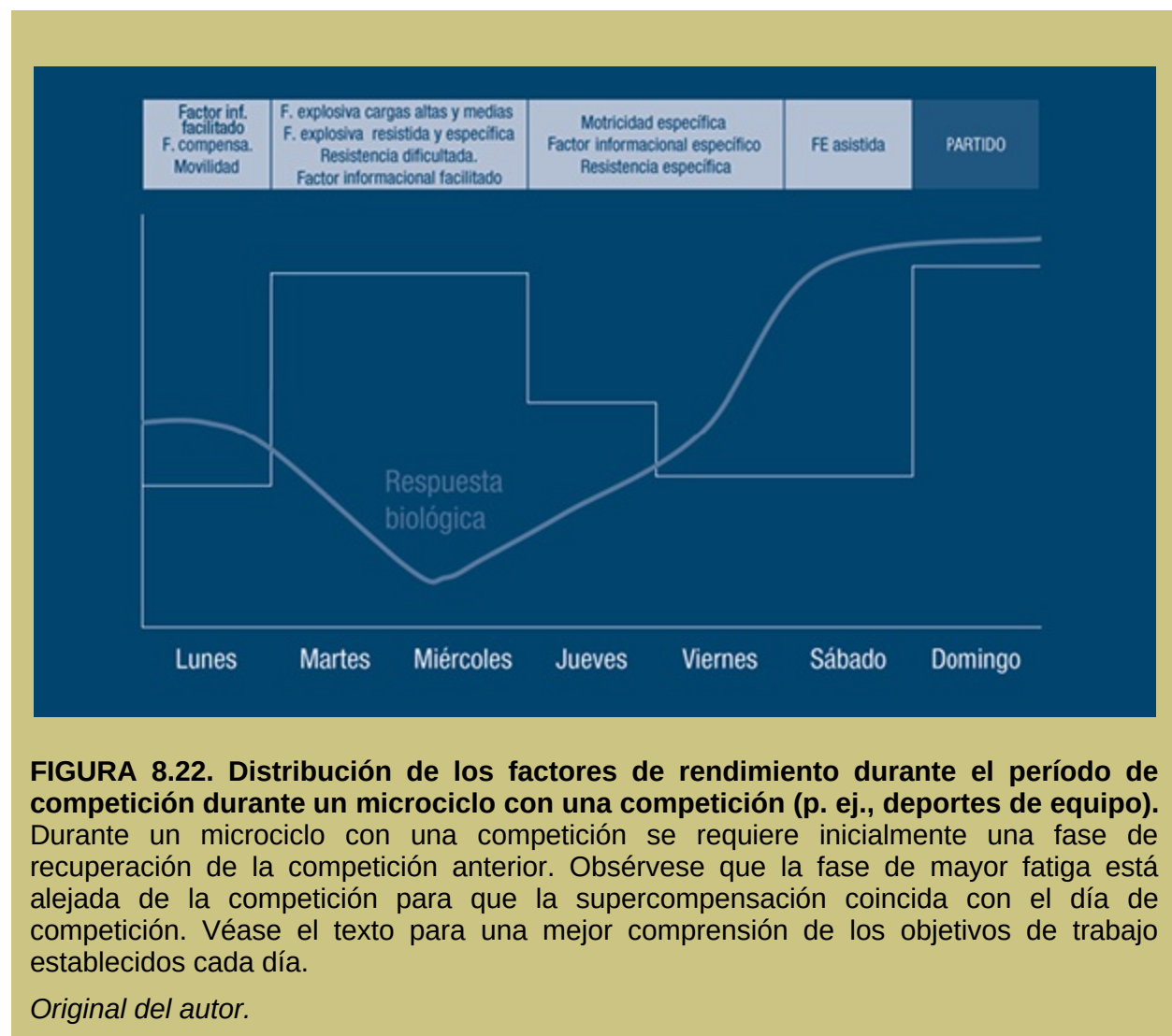
previamente, lo que determina una planificación cambiante en función de los resultados. El ejemplo más evidente es el tenis, en el que un jugador puede estar compitiendo, un torneo sucesivamente durante 1 ó 2 semanas o competir únicamente 1 ó 2 días si pierde en las primeras eliminatorias, determinando una gran diferencia en el número de partidos durante la temporada entre jugadores de distinto nivel de rendimiento.

Independientemente de las diferencias de partidos en función de los condicionantes especificados, se puede establecer que los **sistemas de planificación tradicional y contemporáneo** no se adecúan al calendario de competición de estas modalidades deportivas porque persiguen altos niveles de prestación en momentos puntuales, comprometiendo el rendimiento durante gran parte de la temporada de competición. Para estas modalidades deportivas que cuentan con 1 ó 2 competiciones a la semana, el **microciclo** es la **estructura de referencia de la planificación**. De hecho, el mayor porcentaje de los equipos analizados por Moliner (2008) establece una planificación sin esquema definido sobre la base de microciclos que se adaptan según el calendario de competición. De acuerdo con Álvaro y Sánchez (2004), la competición es el referente básico de la planificación de estas modalidades deportivas, estableciéndose una diferenciación en la distribución de los factores de rendimiento entre los distintos microciclos en función de si existe o no competición, si hay 1 ó 2 competiciones y si la competición es ante un rival de nivel equivalente o es previsible el resultado. Ciertamente, la propuesta de estos autores, **planificación basada en el calendario de competición**, es adecuada si consideramos que durante la temporada de competición se debe perseguir, además de alcanzar un **nivel óptimo de prestación en cada partido, mantener el estado de prestación** toda la temporada. Esto implica de nuevo ajustar adecuadamente el porcentaje de tiempo dedicado al desarrollo del nivel de entrenamiento específico y dificultado con el tiempo dedicado al desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado y resistido. Es cierto que teóricamente el mayor nivel de prestación se consigue priorizando el entrenamiento específico en situaciones que simulen la competición. Sin embargo, mantener mucho tiempo un entrenamiento orientado al nivel de entrenamiento específico limita el mantenimiento de las adaptaciones de reserva, especialmente de fuerza, obtenidas en el período sin competiciones. Esto finalmente puede determinar una disminución del nivel de prestación y un incremento del riesgo de lesión. Recordemos que estas modalidades deportivas se

caracterizan por la fatiga y que, por tanto, mientras que la resistencia se desarrolla inherentemente en la propia competición, la fuerza explosiva específica que delimita el rendimiento real de resistencia a la fuerza explosiva sólo se puede desarrollar con el nivel suficiente de estímulo en las sesiones de entrenamiento. En este sentido, se ha justificado en el capítulo 3 la necesidad de desarrollar la fuerza explosiva específica sobre un trabajo de fuerza con sobrecargas y con ejercicios específicos resistidos. Por ello, durante el período competitivo se deben introducir sesiones de entrenamiento orientadas al desarrollo y mantenimiento de los niveles de fuerza mediante métodos con sobrecargas y con ejercicios específicos resistidos. De acuerdo con Álvaro y Sánchez (2004), se debe aprovechar los **microciclos sin competición y con competición ante rivales muy superiores o inferiores** para desarrollar el nivel de entrenamiento resistido en el período competitivo.

En la figura 8.22 se muestra la distribución de los factores de rendimiento durante un **microciclo que finaliza con una competición**. Se establece como principio básico la secuencia recuperación-carga-supercompensación-competición. La competición supone el nivel más exigente de entrenamiento, requiriendo 1 día con un nivel de carga bajo que permita la recuperación de los deportistas. Este día, además de poder utilizar medios auxiliares de recuperación, debe aprovecharse para trabajar la fuerza compensatoria de los grupos musculares que inciden en la aplicación de fuerza en las acciones de competición y para el desarrollo de la movilidad articular. Además, probablemente es el momento más adecuado para el nivel facilitado informacional, incluyendo directrices asociadas al partido previo y al partido siguiente con el objetivo de integrar durante el microciclo estas directrices mediante métodos que simulen la competición. En los 2 días posteriores se establece el mayor nivel de exigencia del estímulo de entrenamiento con el fin de inducir las adaptaciones deseadas y permitir simultáneamente un período de recuperación suficiente para llegar en estado de supercompensación a la próxima competición. Es prioritario en esta parte del microciclo incidir en el desarrollo de la fuerza explosiva con ejercicios específicos y con ejercicios con sobrecargas. Consideramos, por los argumentos establecidos anteriormente, que no en todos los microciclos se debe realizar sesiones específicas para el desarrollo de la resistencia. En su caso, siempre ha que realizarlas después de las sesiones de fuerza para evitar la fatiga y priorizando el nivel de entrenamiento dificultado, considerando que el nivel de entrenamiento específico es inherente a los partidos de

competición. En esta parte del microciclo se debe continuar con el nivel de entrenamiento facilitado informacional, integrando las nuevas propuestas en situaciones próximas al contexto de competición. Los siguientes 2 días se prioriza el nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición sin que la exigencia del estímulo de entrenamiento sea elevada. En el día previo a la competición se plantea una sesión de activación de elevada intensidad y bajo volumen orientada a la fuerza explosiva específica, priorizando ejercicios asistidos. El momento de aplicación de esta sesión previa a la competición e incluso sus contenidos más adecuados son cuestiones que no ha resuelto todavía la comunidad científica.



En la figura 8.23 se muestra la distribución de los factores de rendimiento

durante un **microciclo con dos competencias**. Se establece como principio básico la secuencia recuperación-supercompensación-competición-recuperación-supercompensación-competición. En el día posterior a cada una de las dos competencias se plantea una sesión de recuperación, incidiendo además en la fuerza compensatoria, la movilidad articular y el nivel facilitado informacional asociado al partido previo y al partido siguiente. En el día anterior a cada una de las dos competencias se establece una sesión de activación de elevada intensidad y bajo volumen mediante ejercicios específicos de fuerza explosiva asistida. Dos días antes de la segunda competición se plantea una sesión asociada al nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición, incidiendo en la integración de los planteamientos informacionales previos, considerando que el volumen no debe ser excesivo.

En la figura 8.24 se muestra la distribución de los factores de rendimiento durante un **microciclo con una competición considerada muy importante**. De forma equivalente a lo establecido para otros microciclos, se plantea el día posterior a la competición una sesión de recuperación, incidiendo además en la fuerza compensatoria, movilidad y directrices informacionales del partido previo y el siguiente. En los 3 días siguientes se establece el mayor nivel de exigencia del estímulo de entrenamiento, aunque, debido a los objetivos de entrenamiento, sea de menor magnitud que en otro tipo de microciclos. En el primero de estos 3 días se establece una sesión orientada al desarrollo de la fuerza explosiva específica y a la integración progresiva de las directrices informacionales en el contexto de competición. Al siguiente día se establece una sesión orientada al nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición. El último día de esta parte del microciclo se plantea una sesión orientada inicialmente al desarrollo de la fuerza explosiva específica y posteriormente al nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición. El nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición es nuevamente el objetivo de entrenamiento 2 días antes de la competición, considerando un menor volumen que en días anteriores. El día anterior a la competición, al igual que en otro tipo de microciclos, se incide en una sesión de activación.



FIGURA 8.23. Distribución de los factores de rendimiento durante el período de competición en un microciclo con dos competencias (p. ej., deportes de equipo). En un microciclo con dos competencias, la carga de trabajo los días que no hay competición debe ser muy baja para garantizar la supercompensación para los días de competición. Véase el texto para una mejor comprensión de los objetivos de trabajo establecidos cada día.

Original del autor.

En la figura 8.25 se muestra la distribución de los factores de rendimiento durante un **microciclo con una competición considerada poco importante**, habitualmente porque el resultado final es difícilmente modificable por el nivel de prestación de los deportistas. Este tipo de microciclo se estructura en tres partes diferenciadas. El primer día es equivalente al resto de microciclos, con una sesión de recuperación con incidencia en la fuerza compensatoria, la movilidad y el factor informacional facilitado. La segunda parte consta de 3 días que se aprovechan para el desarrollo de factores que son trabajados con menor incidencia en microciclos con competiciones importantes, la corrección de errores informacionales y el desarrollo de la fuerza explosiva mediante métodos con sobrecargas. En la tercera parte se establece 1 día para el nivel de entrenamiento específico, y el día previo a la competición, para una sesión de activación.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

En la figura 8.26 se muestra la distribución de los factores de rendimiento durante un **microciclo sin competición**. Este tipo de microciclo es similar a los microciclos con competiciones poco importantes, pero se elimina al final del microciclo la parte correspondiente al nivel de entrenamiento específico y a la sesión de activación para continuar trabajando los factores informacionales y la fuerza con sobrecargas. Cuando el período sin competiciones es superior a un microciclo o después de varios microciclos con competiciones importantes, es conveniente establecer un microciclo de recuperación (figura 8.27). Este microciclo se caracteriza por días de descanso y por la utilización de medios de recuperación auxiliares y de juegos y actividades ajenos al contexto de la modalidad deportiva.



FIGURA 8.24. Distribución de los factores de rendimiento durante el período de competición en un microciclo con una competición muy importante (p. ej., deportes de equipo). Para garantizar una adecuada supercompensación, la magnitud de la carga en un microciclo con una competición muy importante es inferior a la establecida para un microciclo con una competición menos importante. Obsérvese también la mayor proporción de contenidos orientados al desarrollo del nivel de entrenamiento específico. Véase el texto para una mejor comprensión de los objetivos de trabajo establecidos cada día.

Original del autor.



FIGURA 8.25. Distribución de los factores de rendimiento durante el período de competición en un microciclo con una competición poco importante (p. ej., deportes de equipo). La dinámica de la respuesta biológica en un microciclo con una competición poco importante es similar a la establecida para un microciclo con una competición. Sin embargo, en este tipo de microciclo predomina en su parte central el nivel de entrenamiento informacional facilitado y el nivel de entrenamiento resistido asociado al desarrollo de la fuerza explosiva con sobrecargas. Véase el texto para una mejor comprensión de los objetivos de trabajo establecidos cada día.

Original del autor.



FIGURA 8.26. Distribución de los factores de rendimiento durante el período de competición en un microciclo sin competición (p. ej., deportes de equipo). En un microciclo sin competición no es necesario solicitar del organismo una respuesta de supercompensación. En este tipo de microciclo predomina el desarrollo del nivel de entrenamiento facilitado informacional y el nivel de entrenamiento resistido asociado a la ejecución de ejercicios con sobrecargas. Véase el texto para una mejor comprensión de los objetivos de trabajo establecidos cada día.

Original del autor.



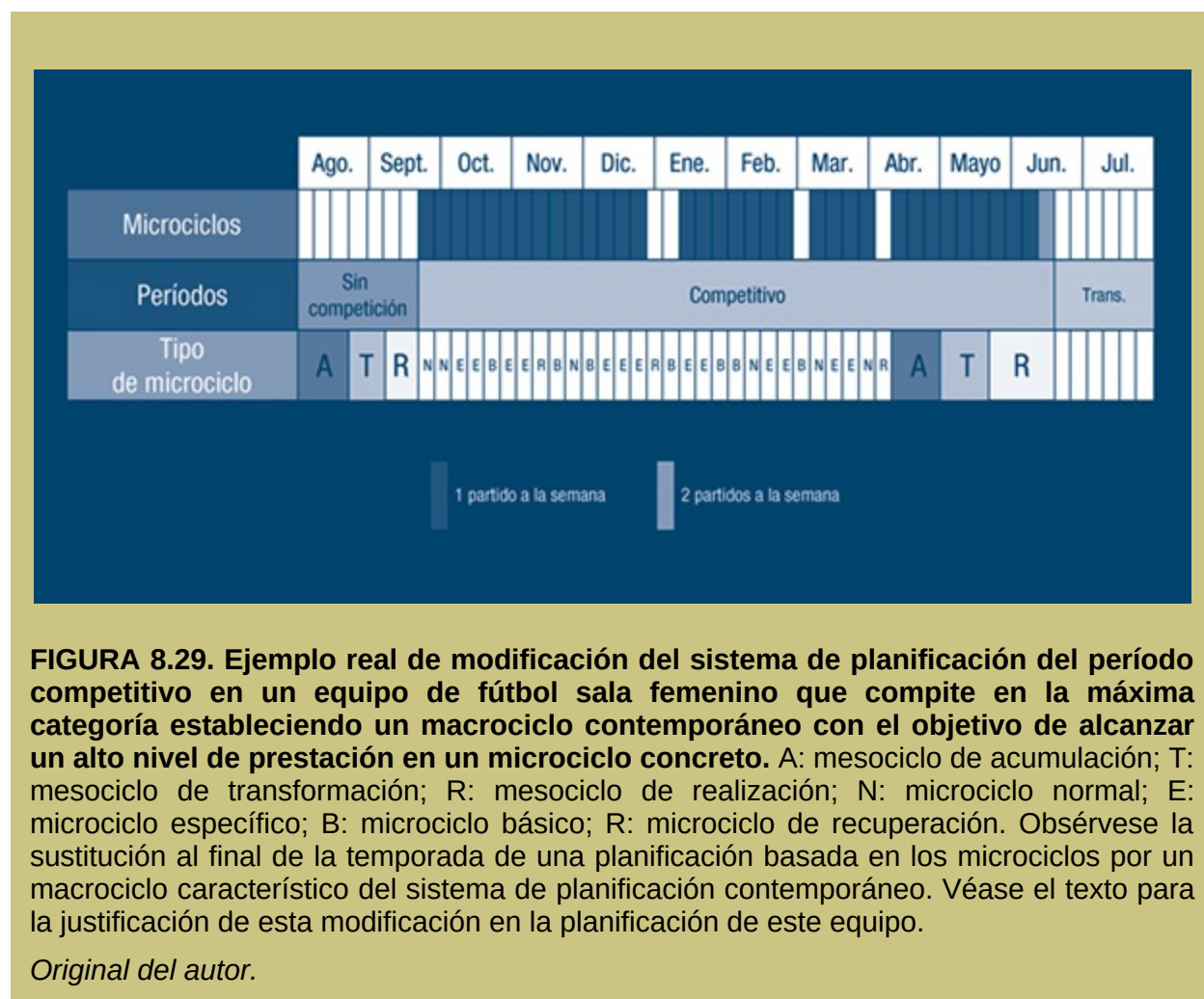
FIGURA 8.27. Distribución de los factores de rendimiento durante el período de competición en un microciclo de recuperación (p. ej., deportes de equipo). En un microciclo de recuperación, el deportista se recupera progresivamente del partido anterior. Obsérvese también que los contenidos de trabajo son ajenos a los factores de rendimiento específicos y básicos de la modalidad deportiva.

Original del autor.

De acuerdo con los distintos tipos de microciclos presentados, se muestra un **ejemplo real de la planificación** prevista para un equipo de fútbol sala que compite en la máxima categoría femenina (figura 8.28). Se considera un **microciclo normal** (N) cuando se utiliza la estructura correspondiente a una o dos competiciones, un **microciclo específico** (E) cuando se utiliza la estructura correspondiente a un partido importante, un **microciclo básico** (B) cuando se utiliza la estructura correspondiente a un partido poco importante o la estructura especificada para semanas sin competición y, por último, están los **microciclos de recuperación** (R). El período **sin competición** dura 7 semanas, estableciéndose un macrociclo contemporáneo de las características descritas previamente. El período **de competición** tiene una duración de 39 semanas (4 semanas sin competición, 34 semanas con un partido de competición con un sistema de liga regular y 1 semana correspondiente a la fase final de la Copa de la Reina, que coincide con el final del período),

estableciéndose 8 microciclos normales, 9 microciclos básicos, 19 microciclos específicos y 3 microciclos de recuperación. De los 3 **microciclos de recuperación**, dos coinciden con Navidad y Semana Santa, no estableciéndose entrenamientos dirigidos, y uno coincide con un partido poco importante después de un largo período de entrenamiento continuado (octava semana del período competitivo). Si excluimos los microciclos coincidentes con Navidad y Semana Santa, únicamente hay 2 semanas sin competición en las que se establecen microciclos básicos. Los otros 7 **microciclos básicos** están distribuidos durante toda la temporada, considerando, además de los partidos con un resultado más difícil de modificar en función del estado de prestación, que no haya un período superior a 1 mes sin aplicar este tipo de microciclo. De esta forma se pretende garantizar durante toda la temporada el mantenimiento de los niveles de fuerza y establecer sucesivos períodos en los que se pueda incidir en importantes modificaciones informacionales. La única excepción es en la parte final de la temporada de competición (8 semanas), en la que únicamente se establecen microciclos normales y prioritariamente específicos al considerar que el efecto acumulativo de entrenamiento es el suficiente para mantener las adaptaciones de fuerza y que la aplicación de estos microciclos puede incrementar en mayor medida el nivel de prestación. Los 12 **microciclos específicos** restantes se aplican coincidiendo con rivales de similar nivel de rendimiento cuando se disputan partidos en casa contra rivales con un nivel de rendimiento ligeramente superior, cuando se disputan partidos fuera de casa contra rivales con un nivel de rendimiento ligeramente inferior y en los microciclos previos a las 2 semanas sin competición coincidentes con la Navidad. Como normal general, los 8 **microciclos normales** se aplican cuando se disputan partidos contra rivales de un nivel de rendimiento claramente inferior y en partidos disputados en casa contra rivales de un nivel de rendimiento claramente superior.

(figura 8.29). A falta de 9 partidos para finalizar la temporada, los resultados previos determinaron la ausencia de objetivos claros de rendimiento que pudieran modificar significativamente la clasificación. Por este motivo se planteó un macrociclo contemporáneo con la previsión de incrementar el nivel de prestación en la última semana de competición coincidente con la fase final de la Copa de la Reina. Este tipo de planteamiento puede ser una estrategia óptima en la parte final del período de competición para los equipos que puedan permitirse una previsible disminución del rendimiento durante varios partidos de la liga regular para preparar más específicamente los partidos de *play-off* o las competiciones nacionales y/o internacionales con un sistema de eliminatorias.



Como se ha indicado anteriormente, algunos **equipos tienen que competir dos veces a la semana** durante un elevado porcentaje de microciclos. En este

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

caso, para mantener un óptimo nivel de rendimiento durante toda la temporada de competición es necesario disponer de un elevado número de jugadores con similar nivel de prestación. De esta forma, es posible alternar los jugadores que disputan cada partido, permitiendo la aplicación sucesiva de estímulos menos específicos en los jugadores más utilizados. Esto permite individualizar la programación por grupos de trabajo aplicando distintos tipos de microciclo en función de los jugadores que van a participar en la próxima competición. Por ejemplo, microciclo normal o específico para los jugadores previstos para el siguiente partido y microciclo básico o de recuperación para el resto de jugadores. Como normal general se puede considerar apropiada la programación de un microciclo básico cada 4-5 semanas y de un microciclo de recuperación cada 7-8 semanas para los jugadores más utilizados. Es importante también diferenciar, al menos al principio de cada microciclo, las características del entrenamiento entre los jugadores que han disputado o no el partido previo. Los jugadores que han disputado el partido requieren sesiones de recuperación y de compensación de la fuerza muscular. Para los jugadores que no han disputado el partido se puede aprovechar para establecer sesiones de fuerza con sobrecargas si así lo requieren las características del microciclo, y especialmente para la ejecución de sesiones orientadas al desarrollo de la resistencia dificultada y de sesiones orientadas al nivel de entrenamiento específico mediante métodos que simulen la competición. Esta diferenciación debe ser especialmente considerada cuando haya una diferencia importante entre los jugadores en el número de partidos disputados.

Síntesis

- Los sistemas y estructuras de planificación tradicionalmente utilizados para optimizar el rendimiento en momentos puntuales son difícilmente adaptables a modalidades deportivas que requieren un alto nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
- En las modalidades deportivas que requieren un alto nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada, en el período sin competiciones (habitualmente 5-7 semanas) es preciso plantear 1 macrociclo con el objetivo de alcanzar un óptimo nivel de prestación al comienzo de la temporada.

- El macrociclo en el período sin competiciones, aunque puede incidir en todos los niveles de entrenamiento, habitualmente ha de priorizar el porcentaje de tiempo dedicado a los niveles de entrenamiento facilitado y resistido, considerando la dificultad de disponer de tiempo suficiente para desarrollar estos niveles durante la temporada de competiciones. En determinadas situaciones se puede priorizar el nivel de entrenamiento específico, al menos en los competidores habituales, si así lo requiere la importancia de las primeras competiciones.
- Durante el período sin competiciones, el entrenamiento de fuerza, especialmente el nivel de entrenamiento resistido, debe priorizar el entrenamiento de resistencia considerando, además de su importancia relativa para el rendimiento, que el desarrollo de la resistencia es inherente al contexto de la competición de la mayoría de las modalidades deportivas que requieren un alto nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
- La mayoría de las modalidades deportivas que precisan un alto nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada se caracterizan por competir una o más veces a la semana. Esto determina que el microciclo sea la unidad referente de planificación en el período competitivo.
- El nivel específico debe priorizar el entrenamiento en los microciclos del período competitivo con el fin de obtener en cada competición un óptimo nivel de prestación.
- Un microciclo habitual o normal en el período competitivo debe considerar, además del nivel de entrenamiento específico, la recuperación de la competición anterior, la compensación de los grupos musculares menos implicados, la supercompensación para la siguiente competición, el nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional derivado del análisis de la competición y el desarrollo de adaptaciones de reserva, fundamentalmente de fuerza, que permitan mantener un alto nivel de prestación en todo el período competitivo.
- Los microciclos del período competitivo deben diferenciarse en función de la importancia de cada competición: microciclo específico para competiciones importantes que incide exclusivamente en el nivel de entrenamiento específico, microciclo básico para competiciones poco importantes o sin competición que incide prioritariamente en el nivel de entrenamiento facilitado motor e informacional y en el nivel de entrenamiento resistido, y microciclos de recuperación aplicados después

de varios microciclos con alto nivel de exigencia de entrenamientos y/o competiciones que inciden prioritariamente en la utilización de medios de recuperación auxiliares y en días de descanso.

- En determinados equipos de algunas modalidades deportivas que compiten habitualmente dos veces a la semana se requiere la continua alternancia de competidores para posibilitar la aplicación de microciclos básicos y de recuperación en los no competidores y la aplicación de microciclos normales y específicos en los competidores.
- Debido a las diferencias entre las distintas modalidades deportivas y/o equipos en el calendario de competición, la importancia y objetivos de las competiciones, los sistemas de competición, la homogeneidad y número de competidores y numerosas circunstancias variables en el período de competición, la planificación de los distintos tipos de microciclo debe ser específica y flexible.
- Aunque la planificación de distintos tipos de microciclo en función de la importancia de las competiciones constituye el referente de planificación de estas modalidades deportivas, cuando por distintas circunstancias el objetivo de rendimiento está focalizado en una o varias competiciones próximas, puede ser adecuado utilizar sistemas de planificación orientados a la optimización del rendimiento en competiciones puntuales.

Cuestionario de asimilación

1. Justifica los inconvenientes que tiene la utilización de un sistema de planificación contemporáneo y convencional para un deporte de equipo.
2. Establece en qué momentos del microciclo de competición de los deportes de equipo utilizarías métodos para el desarrollo del nivel facilitado informacional.
3. Cita las principales diferencias en las características del entrenamiento realizado en un deporte de equipo entre microciclos con y sin competición.
4. Establece en qué momento del microciclo de competición de los

deportes de equipo utilizarías las sesiones de mayor fatiga.

5. Explica en qué momentos del microciclo de competición de un deporte de equipo utilizarías métodos para el desarrollo del nivel de entrenamiento específico.
6. Justifica la importancia relativa del entrenamiento de fuerza y de resistencia en los deportes de equipo.
7. Explica con ejemplos cómo influye en la planificación de un deporte de equipo el calendario de competición y el reglamento de competición.
8. Analiza con ejemplos cómo influye en la planificación de un deporte de equipo el nivel de rendimiento del equipo y el número y homogeneidad de los integrantes del equipo.
9. Establece cómo diferenciarías el trabajo durante el microciclo de competición de un deporte de equipo entre los jugadores habitualmente titulares y los suplentes.
10. Indica cuáles son los principales criterios que utilizaría para reorientar el entrenamiento en el microciclo de competición de un deporte de equipo y de un deporte de raqueta.
11. Define las principales diferencias en los objetivos de entrenamiento en el macrociclo sin competición de un deporte de equipo en función de si tiene o no en el inicio de la temporada de competición una competición muy importante.
12. Establece situaciones en las que consideres que puede ser apropiado usar un sistema de planificación contemporáneo para un deporte caracterizado por requerir un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
13. Indica en qué momentos de la temporada consideras que es apropiado el entrenamiento facilitado motor e informacional en una modalidad deportiva que precisa un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada.
14. Selecciona un equipo o un deportista que requiera un óptimo nivel de prestación durante la mayor parte de la temporada y que conozca el nivel de rendimiento relativo de sus rivales y el calendario de competición. Con los datos de que dispones, establece un sistema de planificación considerando el período sin competición y la

distribución de los distintos tipos de microciclo en el período competitivo.

Bibliografía

- Álvaro J, Sánchez F. *Planificación del entrenamiento en deportes de equipo*. COE-UAM, 2004.
- Bahr R. Principles of injury prevention. En: Brukner P, Khan K. *Clinical sports medicine*. Mc Graw Hill, 2007:78-101.
- Banister EW, Carter JB, Zarkadas PC. Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;79:182-91.
- Bishop D, Edge J. The effects of a 10-day taper on repeated-sprint performance in females. *J Sci Med Sport* 2005;8:200-9.
- Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D et al. Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1358-65.
- Chtara M, Chaouachi A, Levin GT et al. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res* 2008;22:1037-45.
- Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med* 2007;37:737-63.
- Cometti G, Ongaro L, Alberti G. I principi metodologici del riscaldamento per la prestazione sportiva (prima parte: gli aspetti teorici). *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2005;64:17-27.
- Costill DL, Thomas R, Robergs RA et al. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:371-7.
- Costill DL, King DS, Thomas R et al. Effects of reduced training on muscular power in swimmers. *Phys Sportsmed* 1985;13:94-101.
- Davis WJ, Wood DT, Andrews RG et al. Concurrent training enhances athletes' strength, muscle endurance, and other measures. *J Strength Cond Res* 2008;22:1487-502.
- Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med* 2000;30:385-94.
- Elliott MC, Wagner PP, Chiu L. Power athletes and distance training: physiological and biomechanical rationale for change. *Sports Med* 2007;37:47-57.
- Harre D. *Teoría del entrenamiento deportivo*. Stadium, 1987.
- Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980; 45:255-63.
- Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12:288-95.
- Hooper SL, Mackinnon LT, Ginn EM. Effects of three tapering techniques on the performance, forces and psychometric measures of competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;78:258-63.
- Houmard JA, Scott BK, Justice CL, et al. The effects of taper on performance in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:624-31.
- Issurin VB. *Block periodization concept applied to planning sport training*. II Jornada de actualización ARD. COE, 2006.
- Issurin VB. Pianificazione a breve termine e struttura a blocchi dell'allenamento. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2003; 58-59:32-5.
- Issurin VB, Kaverin VF. *Planirovania I postroenie godovogo cikla podgotovki grebcov*. Grebnoj sport, 1985.

- Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ *et al.* Detraining and tapering effects on hormonal responses and strength performance. *J Strength Cond Res* 2007;21:768-75.
- Izquierdo-Gabarren M, González de Txabarri Expósito R, García-Pallarés J *et al.* Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc* 2009 Dec 9. [Epub ahead of print].
- Johns RA, Houmard JA, Kobe RW *et al.* Effects of taper on swim power, stroke distance, and performance. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:1141-6.
- Kelly CM, Burnett AF, Newton MJ. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. *J Strength Cond Res* 2008;22:396-403.
- Martin DT, Scifres JC, Zimmerman SD, Wilkinson JG. Effects of interval training and a taper on cycling performance and isokinetic leg strength. *Int J Sports Med* 1994;15:485-91.
- Matveyev L. *Fundamentals of Sport Training*. Progress Publishers, 1981.
- Navarro F. *Bases del entrenamiento y su planificación*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 2003.
- Navarro F. *Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación*. Máster en Alto Rendimiento Deportivo. COE-UAM, 1994.
- Mikkola JS, Rusko HK, Nummela AT *et al.* Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res* 2007;21:613-20.
- Moliner D. *Análisis de la preparación física en las ligas españolas de máxima categoría de distintos deportes colectivos*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 2008.
- Mujika I. *Tapering and peaking for optimal performance*. Human Kinetics, 2009.
- Mujika I, Padilla S, Pyne D *et al.* Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med* 2004;34:891-927.
- Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1182-7.
- Mujika I, Padilla S, Pyne D. Swimming performance changes during the final 3 weeks of training leading to the Sydney 2000 Olympic Games. *Int J Sports Med* 2002;23:582-7.
- Mujika I, Goya A, Padilla S *et al.* Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:511-7.
- Papoti M, Martins LE, Cunha SA, Zagatto AM, Gobatto CA. Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res* 2007;21:538-42.
- Platonov VN. Struttura, finalizzazione, tipologie e organizzazione delle unità di allenamento. *SDS/Rivista di Cultura Sportiva* 2005; 64:9-15.
- Platonov VN. *El entrenamiento deportivo: Teoría y metodología*. Paidotribo, 1988.
- Pyke FS, Craig NP, Norton Ki. Physiological and psychological responses of pursuit and sprint track cyclists to a period of reduced training. En: *Medical and scientific aspects of cycling*. Human Kinetics, 1988.
- Pyne DB, Mujika I, Reilly T. Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *J Sports Sci* 2009;27:195-202.
- Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 2009 Nov 9. [Epub ahead of print].
- Shepley B, MacDougall JD, Cipriano N *et al.* Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol* 1992;72:706-11.
- Thomas L, Mujika I, Busso T. A model study of optimal training reduction during pre-event taper in elite swimmers. *J Sports Sci* 2008;26:643-52.
- Yamamoto LM, Klau JF, Casa DJ *et al.* The effects of resistance training on road cycling performance among highly trained cyclists: a systematic review. *J Strength Cond Res*

2010;24:560-6.

Yamamoto LM, Lopez RM, Klau JF *et al.* The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2008;22:2036-44.

Zatsiorsky VM. *Science and practice of strength training*. Human Kinetics, 1995.

capítulo 9

Prevención y readaptación de lesiones

El capítulo 9 tiene por objetivo que el lector conozca las nociones básicas de las distintas lesiones deportivas, los modelos establecidos para su prevención, la evidencia científica de las principales estrategias de prevención y las pautas de entrenamiento durante la readaptación del deportista lesionado. En el apartado 1, *Lesiones deportivas*, se definen las principales lesiones y su epidemiología, y se referencian las nociones básicas de los síntomas, el diagnóstico y el tratamiento. El apartado 2, *Modelos y estrategias para la prevención de lesiones*, enseña alguno de los principales modelos usados en la prevención de lesiones deportivas y muestra desde una perspectiva práctica un análisis de la eficacia de las distintas estrategias de prevención conforme a la calidad y el número de estudios científicos realizados. Finalmente, el apartado 3, *Readaptación física del deportista lesionado*, resalta la importancia y competencias del readaptador físico, enseña los principales objetivos y contenidos de trabajo en las distintas fases en que se divide el período de readaptación y establece pautas para una correcta ejecución de los ejercicios durante este proceso.

1

Lesiones deportivas

Ramón Olivé Vilás

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer qué es una lesión deportiva.
- Conocer las principales causas asociadas a las lesiones deportivas.
- Conocer la epidemiología de las lesiones deportivas en distintas modalidades deportivas y momentos de la temporada.
- Describir las lesiones deportivas más frecuentes.
- Disponer de conocimientos básicos de los síntomas, el diagnóstico y el tratamiento de las principales lesiones deportivas.

Índice:

- 1.1. Concepto, factores y epidemiología
- 1.2. Aspectos básicos de las lesiones deportivas más frecuentes
 - Lesiones de los músculos
 - Lesiones de los tendones
 - Patología ósea por sobrecarga
 - Síndrome compartimental crónico
 - Lesiones de la articulación del hombro
 - Lesiones de la articulación del codo
 - Lesiones de la articulación de la rodilla
 - Lesiones de la articulación del tobillo y pie

Síntesis

Cuestionario de asimilación

Las lesiones deportivas tienen una gran importancia en el contexto del deporte debido a que conllevan un tiempo de inactividad con múltiples consecuencias adversas, más o menos perjudiciales en función de la gravedad de la lesión, del momento en el que se producen y de su evolución. Su rehabilitación exige tiempo, esfuerzo y dedicación, y resistencia a la frustración y al dolor. Suelen ir acompañadas de experiencias psicológicas que afectan el funcionamiento y bienestar de la persona lesionada y de los que la rodean. Consideramos relevante en el contexto de este manual que los entrenadores y preparadores físicos tengan el conocimiento básico de las lesiones más frecuentes en el deporte, su definición, epidemiología, síntomas, diagnóstico y tratamientos habitualmente aplicados.

1.1. Concepto, factores y epidemiología

En los estudios epidemiológicos se observa la ausencia de un criterio común para identificar una lesión deportiva (Fuller *et al.*, 2007a; Hodgson *et al.*, 2007). Por ejemplo, en el análisis realizado por Junge y Dvorak (2000) se afirma que un jugador de fútbol está lesionado cuando es incapaz de participar en el próximo partido o entrenamiento. Esta descripción ha recibido algunas críticas dado que presenta imprecisiones: su aplicabilidad depende de la frecuencia de entrenamiento o partido, la situación lesiva puede obligar a modificar ciertos aspectos del entrenamiento sin que el deportista permanezca ausente del mismo, pueden existir otros factores como la disponibilidad de tratamiento medicoterapéutico o la importancia del juego o competición. En Estados Unidos, el National Athletic Injury Registration System entiende por lesión el impedimento o limitación por lo menos de 1 día para la actividad deportiva después del evento. Esta definición es más precisa, pero no resuelve el problema, puesto que otros factores deberían ser tenidos en cuenta (tipo, gravedad, mecanismo, etc.). El Consejo de Europa ha expuesto que es necesario al menos uno de los siguientes criterios para que una lesión sea considerada como tal (van Mechelen *et al.*, 1992): la reducción de la cantidad de actividad deportiva, la necesidad de tratamiento médico y los efectos adversos sociales o económicos que de ella se derivan. Para Fuller

et al., (2007a) las lesiones deben entenderse como daños corporales o quejas causadas por una transferencia de energía que excede la capacidad para mantener la estructura y/o la función íntegras durante el entrenamiento o competición, y que requieren atención médica o una restricción de la actividad deportiva.

La mayoría de las propuestas para definir el término lesión se han realizado desde una perspectiva medicoterapéutica y muchas de ellas son dependientes del contexto. Es por ello por lo que podríamos aventurarnos a formular una propuesta a efectos de contextualizar el fenómeno dentro del área de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, y concretamente dentro del ámbito funcional del preparador físico. Para realizar una propuesta de **definición de lesión deportiva** podemos tomar en consideración una serie de aspectos entre los que se distinguen los siguientes: factores motivadores, evolución, días de baja, tiempo de exposición, relación con las actividades cotidianas del individuo y el perfil lesional (tipo, gravedad y mecanismo de lesión). Así, la lesión deportiva se puede entender como un daño corporal que afecta el bienestar, causado por un mecanismo directo o indirecto en una región anatómica, que cursa de modo agudo o crónico manteniendo al sujeto fuera de su actividad fisicodeportiva durante un período mínimo de 24 h, y que puede provocar un deterioro de la capacidad funcional y de su competencia física, o el final de su vida deportiva. En este contexto, las lesiones deportivas pueden clasificarse según diferentes criterios (tabla 9.1).

Un elemento fundamental ante la aparición de una lesión deportiva es conocer los **factores de riesgo** que la producen con el fin de establecer las medidas preventivas necesarias para que no vuelva a suceder. Clásicamente, estos factores de riesgo se han agrupado en dos grandes grupos: factores extrínsecos y factores intrínsecos. Meewisse (1991) expuso un modelo multifactorial de la etiología de las lesiones deportivas basado en ambos factores y destacando el efecto de éstos sobre la predisposición o susceptibilidad del deportista (figura 9.1).

Los **factores extrínsecos** son independientes del deportista y se relacionan con el tipo de actividad, la forma en que se realiza, el equipamiento usado y el entorno donde se desarrolla.

Hay que destacar los **errores asociados al entrenamiento** como el principal factor extrínseco de la incidencia de lesiones. Se considera que un 60-80% de las lesiones por sobreuso obedecen a errores de entrenamiento (Taimela *et al.*, 1990). Los errores más comunes son volumen inadecuado,

progresión rápida en las cargas programadas, falta de períodos de recuperación, trabajo excesivo en planos inclinados e intensidad alta. En este sentido, hay que destacar los trabajos clásicos de Muelle y Blyth (1974) y el de Ekstrand *et al.*, (1983), quienes relacionaron la incidencia de lesiones en función de la experiencia de los entrenadores. Aunque en ocasiones no existe una evidencia científica clara, se han considerado factores asociados al riesgo de lesión: nivel de destreza de los deportistas (Junge *et al.*, 2002), actitud tonicopostural desequilibrada (Zazulak *et al.*, 2007; Anderson y Behm, 2005), calentamiento inadecuado (Fradkin *et al.*, 2006; Olsen *et al.*, 2005), falta de trabajo propioceptivo (Zazulak *et al.*, 2007; Fu y Hui-Chan, 2005; Thacker *et al.*, 2003), déficit de fuerza muscular (Hughes y Watkins, 2006) y de flexibilidad (Steffen *et al.*, 2008; Witvrouw *et al.*, 2007), recuperación insuficiente y/o inadecuada (Nicholas y Tyler, 2002; Cos y Cos, 1992) y hábitos y estilos de vida del deportista (Buceta, 1998; Lysens *et al.*, 1986).

TABLA 9.1. Clasificación de las lesiones deportivas

Según el tiempo de evolución	Agudas: si vemos la lesión a las pocas horas o días después del accidente Crónicas: si vemos la lesión tras varias semanas o meses desde que se produjo
Según el mecanismo de lesión	Impacto directo: cuando la lesión es ocasionada por un objeto contundente que percute sobre nuestro cuerpo y supera la resistencia de la estructura sobre la que impacta Mecanismo indirecto o de no impacto: son consideradas como autolesiones consecuencia de una descoordinación en la acción de nuestro organismo
Según su etiología	Por una acción puntual: la lesión se produce ante un solo episodio de aplicación de un determinado agente que es capaz de superar la resistencia del tejido o estructura donde impacta Por una acción repetitiva (fatiga o sobreuso): la lesión se produce por la reiteración de episodios que a la larga por fatiga llegan a producir la lesión Fractura patológica: cuando la aplicación de la fuerza lesiva se realiza sobre una estructura previamente lesionada, enferma o anormal
Según el factor causal	Mecanismo externo: estaría ocasionado por las infraestructuras deportivas, conducta del contrario, mala planificación del entrenamiento, condiciones medioambientales, reglamentos deportivos Mecanismo interno: condicionados por el propio somatotipo del individuo, factores biomecánicos, psicológicos
Según el número de estructuras afectadas	Lesión simple: cuando sólo existe una estructura lesionada Lesión compleja: hay más de una estructura afectada
Según su localización	Cabeza, tronco y pelvis Extremidad superior Extremidad inferior
Según la estructura afectada	Músculo Tendón Hueso Articulación

Original del autor.



FIGURA 9.1. Modelo interpretativo de los factores de riesgo de lesión. Considérese la importancia de establecer modelos que ayuden a determinar los factores que establecen la etiología de las lesiones. En este modelo cabe comprobar que el riesgo de lesión está asociado a factores intrínsecos y extrínsecos y su influencia sobre la predisposición que tiene cada deportista a lesionarse en una determina actividad deportiva.

Adaptado de Meewisse WH. Sports Med 1991;12:8-15.

Otros factores extrínsecos asociados al incremento del riesgo de lesión son los **factores meterológicos**, como la baja temperatura (Sallis y Chassay, 1999), que influye en la capacidad de absorción del impacto de las zapatillas deportivas (Dib *et al.*, 2005); la alta temperatura (Gissane *et al.*, 2003); el grado de humedad, el viento y la altitud (Olivé, 2000); las **superficies** donde se realiza la actividad deportiva (Fuller *et al.*, 2007ab; Steffen *et al.*, 2007); el **equipamiento deportivo** (Olivé 2000); **medicaciones específicas** como la fluroquinolonas (Van der Linder, 2002) y los corticoides locales y sistémicos (Cowan, 1966), y la ingesta de alcohol (Satterthwaite *et al.*, 1999).

Los **factores intrínsecos** hacen referencia a las características fisiológicas, estructurales y psicológicas del individuo que le predisponen a padecer una determinada lesión. Entre estos factores encontramos la **edad** del deportista: los deportistas de mayor edad tienen tendencia a sufrir un mayor número de lesiones (McKean *et al.*, 2006; Arnason *et al.*, 2004); el **sexo**: mayor incidencia de lesiones en hombres que en mujeres (Mafulli *et al.*, 2003; Danseco *et al.*, 2000), pero algunos estudios indican una mayor incidencia de lesiones por sobreuso en la mujer que en el hombre debido a que ésta tiene

una debilidad del sistema músculoesquelético que limitaría la absorción de los impactos repetitivos con un mismo peso corporal (Drinkwater, 1988), y las **características antropométricas**: en general las personas muy altas y pesadas tienen un mayor riesgo de padecer lesiones con la actividad física (Taimela *et al.*, 1989). Ello se debe a que las personas altas tienen el centro de gravedad elevado y una gran longitud de los brazos de palanca que ocasionaría un mayor estrés en las articulaciones, especialmente en las acciones de cambios de dirección.

La **mala alineación estructural** se considera uno de los principales factores intrínsecos asociados a distintos tipos de lesiones. La hiperpronación del pie, el antepié varo, la limitación de la movilidad subtalar, dismetría de extremidades, talón varo o valgo y la rigidez del tobillo se asocia con patología del tendón de Aquiles (Subotnick, 1989). El corredor con pies excesivamente pronados tiene una predisposición a lesiones en la cara medial de las extremidades inferiores (periostitis tibial, síndrome de dolor femororrotuliano, tendinitis del músculo tibial posterior, etc.) debido habitualmente a una excesiva movilidad subtalar. En cambio, el corredor con pies cavos a menudo tiene un pie rígido y concomitantemente problemas para disminuir y absorber la fuerza de impacto con el suelo. Estos deportistas presentan con mayor frecuencia lesiones en la cara lateral de las extremidades inferiores (síndrome de fricción de la banda iliotibial, tendinitis de los músculos peroneos, fracturas por estrés, bursitis trocantérea y fascitis plantar) (McKenzie *et al.*, 1985). La anteversión del cuello femoral, torsión tibial externa, subluxación rotuliana, genu valgo o varo con ángulo Q excesivo, rótula alta/baja y tibia vara predisponen a la rodilla y al aparato extensor a un mayor riesgo de lesiones (Krivickas, 1997). La dismetría de las extremidades suele ser un factor importante a buscar en los casos de dolor lumbar y patología de los isquiotibiales; se corregirá en los deportistas sintomáticos con una dismetría > 5 mm en los practicantes de deportes de fondo y a partir de 10 mm en los deportistas de otras actividades (Olivé, 2000).

Otro punto de interés es conocer si nuestro deportista ya ha sufrido con anterioridad alguna lesión, ya que diferentes estudios nos indican que un individuo que ha padecido una lesión tiene un alto riesgo de padecer otra, y su recurrencia nos hará pensar en una cierta **predisposición biológica** (Gent *et al.*, 2007; Taimela *et al.*, 1990). Se considera que existen factores genéticos que expresarían una susceptibilidad individual a sufrir una tendinosis. También hay evidencia de que existen diferencias individuales en la

velocidad de regeneración tisular del tejido conectivo y en las sustancias que actúan sobre los genes que expresan la síntesis del colágeno del tipo I, como son MMP-1 y MMP-3, la prosta-glandina E2, y el leucotrienio B(4) (Thampatty *et al.*, 2006).

En líneas generales, podemos decir que en las lesiones agudas tienen un papel predominante los factores extrínsecos, mientras que en las lesiones por sobreuso la etiología es multifactorial (Olivé, 2000).

Tanto la incidencia como el tipo de lesión están directamente asociados a las características de los distintos deportes. Resulta complejo establecer la **epidemiología de las lesiones** debido a la dificultad de comparar los estudios realizados sobre distintos deportes como consecuencia de las diferencias metodológicas en la obtención y el procesamiento de los datos. Por ello, es de gran interés el trabajo realizado por la National Collegiate Athletic Association (NCAA), que recoge con la misma metodología los datos de las lesiones ocurridas en los últimos años (1998-2004) en 15 deportes diferentes (Hootman *et al.*, 2007).

En líneas generales, podemos decir que en la mayoría de los deportes analizados la mayor incidencia de lesiones se da durante la **competición** (14 lesiones/1.000 participantes) respecto a las sesiones de **entrenamiento** (4 lesiones/1.000 participantes). Otro dato a destacar es que la incidencia de lesiones es significativamente mayor en la **pretemporada** (7 lesiones/1.000 participantes) que en la **temporada** (2 lesiones/1.000 participantes) y la **posttemporada** (1 lesión/1.000 participantes). La **localización** más frecuente de las lesiones es la extremidad inferior (50%), siendo el esguince de tobillo, con afectación del ligamento colateral lateral, la más frecuente (15% del total de lesiones) (Hootman *et al.*, 2007). El análisis también mostró importantes **diferencias entre deportes** en el porcentaje y las características de las lesiones.

De los deportes analizados, el fútbol americano es el que presentó una mayor incidencia de lesiones tanto en las sesiones de entrenamiento (10 lesiones/1.000 practicantes) como en los partidos (36 lesiones/1.000 practicantes); mientras que el béisbol, en el caso del hombre, con 2 lesiones/1.000 practicantes, y el softbol, en la mujer, con 4 lesiones/1.000 practicantes, fueron los de menor incidencia. Sin embargo, en béisbol el 25% de las lesiones fueron graves y ocasionaron una pérdida de jornadas de actividad superior a 10 días (Dick *et al.*, 2007a).

El baloncesto masculino mostró una tasa global de lesión de 10/1.000

participantes, localizándose aproximadamente el 60% de las lesiones en la extremidad inferior, con un promedio de 10 días perdidos a causa de la lesión (Dick *et al.*, 2007b). En el fútbol se observó que la tasa de lesiones es muy superior en la competición que en las sesiones de entrenamiento (19 vs. 4 lesiones por 1.000 practicantes) y en la pretemporada que en la temporada (8 vs. 2 lesiones por 1.000 practicantes), siendo la lesión más frecuente el esguince de tobillo, y entre las que causan más de 10 días de interrupción del entrenamiento, las lesiones del ligamento colateral medial de la rodilla (Agel *et al.*, 2007). Similar localización de las lesiones se ha visto en las jugadoras de fútbol profesional (Junge y Dvorak, 2007).

En deportes de combate como la lucha libre se observó que la mayoría de lesiones se producen durante el combate (contacto entre competidores), siendo las zonas más vulnerables en la competición el aparato locomotor y la cabeza, mientras que las infecciones cutáneas fueron las más frecuentes en las sesiones de entrenamiento (Agel *et al.*, 2007).

En deportes individuales como la gimnasia deportiva también se observó que el número de lesiones en la competición era superior al de la fase de preparación (15 vs. 6 lesiones por cada 1.000 practicantes), produciéndose especialmente en la salida o la recepción de los aparatos (Marshall *et al.*, 2007).

En las carreras de larga distancia de atletismo, la incidencia de lesiones varía significativamente según los autores, siendo la rodilla el lugar de asiento más frecuente, seguido por la pantorrilla, el pie y el muslo. Los dos factores de mayor riesgo son las largas sesiones de entrenamiento por semana y el antecedente de lesión previa (Gent *et al.*, 2007). En el golf, según los datos publicados por Gosheger *et al.*, (2003), se encuentra que el 83% de las lesiones se producen por sobreuso y el 17% son lesiones agudas. En los profesionales, las lesiones asientan principalmente en la espalda, muñeca y hombro; mientras que en el amateur el primer lugar lo ocupa el codo, seguido de la espalda y el hombro. En cuanto a la gravedad de las lesiones, el 51% son lesiones leves; el 27%, moderadas, y el 22%, graves.

En triatlón se ha documentado que aproximadamente el 50% de los deportistas sufrirán una lesión en los 6 meses de preparación al inicio de la temporada, con una incidencia de 3 lesiones/1.000 h de entrenamiento, y que el 37% sufrirán una lesión durante las 10 semanas de la temporada de competición (Burns *et al.*, 2003). En este estudio se documentó que las lesiones por sobreuso representaron el 68% en las lesiones de pretemporada y

el 78% en las semanas de competición. Como factores de riesgo se consideraron el mayor número de años de práctica en la actividad, alto kilometraje en la carrera a pie, historia de una lesión previa y calentamiento previo insuficiente (Burns *et al.*, 2003).

En la escalada libre se ha visto que el 50% de los sujetos habían padecido una o más lesiones que requirieron atención médica durante el último año (Jones *et al.*, 2008). Un análisis detallado nos muestra que el 10% habían sufrido una lesión aguda como consecuencia de una caída, el 33% tuvieron lesiones crónicas por sobreuso y el 28% presentaron una lesión a consecuencia de movimientos bruscos durante la escalada, siendo la dificultad de la escalada y el nivel técnico del deportista factores condicionantes en la aparición sobre todo de lesiones por sobreuso en el hombro y dedos de la mano.

Estos estudios epidemiológicos que hemos expuesto hacen referencia en su mayor parte a la incidencia de **lesiones agudas**. Sin embargo, en el ámbito del deporte, las lesiones que con mayor frecuencia hacen perder horas y calidad de entrenamiento son las **lesiones por sobreuso**. Estas últimas lesiones podemos definirlas como un desequilibrio ocasionado por el exceso de entrenamiento intensivo y la falta de recuperación, lo que dará lugar a una incapacidad de los mecanismos de reparación de los tejidos para sanar los microtraumatismos ocasionados. Aunque ya en 1944 Lipscomb reconoció el papel del deporte como actividad repetitiva que es causa de las lesiones por sobreuso en los tendones, el averiguar la verdadera incidencia de estas lesiones es difícil por dos motivos: el primero es la dificultad de clasificar esta lesión y el segundo es el gran número de personas que participan en el diagnóstico de este tipo de lesiones (médicos, fisioterapeutas, masajistas, quiroprácticos, etc.). Actualmente, la mayoría de los trabajos apuntan a que más del 50% de todas las lesiones sufridas en el deporte se deben al sobreuso (Wilder y Sethi, 2004), y ello va en aumento en las últimas décadas, siendo la estructura más afectada el músculo esquelético (Herring y Nilson, 1987).

1.2. Aspectos básicos de las lesiones deportivas más frecuentes

En este punto se describen las lesiones más frecuentes, las técnicas de diagnóstico y el tratamiento habitual. Como criterio didáctico se describen las

lesiones en función del tejido y/o articulación afectada, tratando de evitar en la medida de lo posible el tecnicismo no habitual para los profesionales del entrenamiento deportivo.

Lesiones de los músculos

En el ámbito del deporte, las **lesiones musculares** representan una de las patologías más frecuentes. En algunas series se muestra que más del 67% de las lesiones producidas por el deporte afectan el músculo. Otro dato importante es que aproximadamente el 25% de los deportistas sufrirán en algún momento de la temporada una lesión muscular.

Lo fundamental ante una lesión muscular es ver si hay lesión anatómica de la fibra muscular, ya que ello condiciona el tratamiento y la posterior evolución de la lesión. Existen dos grandes grupos:

Sin evidencia de afectación macroscópica de la fibra muscular

Dolor muscular de inicio retardado

El **dolor muscular de inicio retardado** aparece generalmente entre las 24 y las 72 h siguientes a la conclusión de una actividad física, generalmente intensa y/o desacostumbrada. No tiene por qué ser un trabajo fatigante, pero sí tiene un componente de alta intensidad y de trabajo muscular excéntrico más que concéntrico. Su manifestación clínica se inicia con una sensación de tumefacción y de tensión muscular que aparece unas horas después de haber terminado el trabajo muscular y que alcanza el máximo de molestias a los 2-3 días. El punto más doloroso se localiza en la unión miotendinosa. Se acompaña de debilidad muscular que suele ser transitoria y que puede alcanzar el 50% de la fuerza máxima. La causa parece deberse a alteraciones de la estructura molecular e histológica de la fibra muscular, que no sólo se limita a la unión miotendinosa. Los estudios morfológicos muestran desestructuración y microrroturas en el área de la banda Z y a nivel del sarcolema. Suelen verse más afectadas las fibras musculares de tipo II.

Contractura

La **contractura** es una hipertonía de un fascículo o un grupo de fibras musculares. No suele ceder con el estiramiento, tiene carácter involuntario y su aparición es súbita tras un esfuerzo. Se traduce por una tensión o “bola” en el músculo afecto que limita parcialmente su función.

Calambre

El **calambre** es una contracción hipertónica global de un músculo, involuntaria, reversible espontáneamente, por estiramiento o compresión del músculo. No deja secuelas y suele aparecer después de grandes esfuerzos, trabajo muscular en condiciones climáticas desfavorables (mucho calor, humedad, o ambas), alteraciones metabólicas (déficit de hidratación, alteraciones iónicas: hiponatremia, hipopotasemia e hipocalcemia). Se trata de una contractura isométrica muy intensa. Su localización preferente es el gemelo, el pie y ocasionalmente los isquiotibiales.

Elongación o distensión de la fibra muscular

La **elongación** se origina por una contracción que provoca un alargamiento de la fibra muscular. El músculo puede estar inactivo o activo. En este último caso suele asociarse con mayor frecuencia a un movimiento de carácter excéntrico. El estiramiento produce una desestructuración molecular de la fibra pero no la rompe. La clínica se caracteriza por dolor de aparición inmediata tras el episodio de estiramiento, y se acompaña de una disminución de la fuerza muscular que puede llegar al 50%. Los músculos más proclives a sufrir este tipo de lesión son los músculos biarticulares (tríceps, isquiotibiales, cuádriceps).

Hernia muscular

La **hernia muscular** es poco frecuente, no existe una rotura de la fibra muscular pero sí de la aponeurosis que lo envuelve. Aparece después de un golpe o una caída. Con la contracción muscular las fibras musculares desaparecen y disimulan el bultoma que en la fase de relajación asoma por los bordes del agujero aponeurótico. El dolor puede tener diferente

traducción, incluso en ocasiones la hernia es asintomática. La fuerza muscular está conservada.

Con evidente lesión de la fibra muscular

Microrrotura

La **microrrotura** afecta un grupo pequeño de fibras musculares; el dolor es como el de una “pedrada”, e incluso puede hacer que el atleta caiga al suelo sin posibilidad de continuar el ejercicio.

Rotura parcial

La **rotura parcial** afecta un fascículo o más, pero sin afectar el espesor completo del músculo.

Rotura total

La **rotura total** es la rotura completa del músculo. La clínica se caracteriza por dolor vivo que impide proseguir la actividad física y puede provocar la caída del deportista. El punto de dolor está bien localizado con una impotencia funcional completa. La movilización pasiva es realizable si la lesión es mínima, mientras que, si es importante, es imposible. La movilización activa está limitada y es muy dolorosa. Igualmente la movilización contrariada es sumamente dolorosa.

La **localización de las lesiones musculares** está asociada en un 80-90% a la extremidad inferior, especialmente en los músculos biarticulares: un 29% en los músculos isquiotibiales (especialmente en la unión del vientre corto y el largo del bíceps femoral) y un 28% en el cuádriceps (principalmente el recto anterior). Las lesiones musculares también se localizan en el gemelo interno, específicamente cuando está en tensión con la rodilla extendida y el pie en flexión plantar máxima con apoyo sobre los dedos, como es el caso del tenista al realizar el saque; en el músculo aductor del muslo, especialmente el aductor mediano y el recto interno, y en los músculos rectos anteriores del abdomen, psoasílico y músculos paravertebrales.

La **prueba complementaria** de mayor utilidad para el diagnóstico de las

lesiones musculares es la ecografía. Se puede utilizar la radiografía convencional ante la sospecha de un posible arrancamiento de la inserción ósea o de un cuadro de osificación (miositis osificante). Ante la sospecha de este cuadro de calcificación muscular estará indicada en la fase inicial y como seguimiento de la actividad la realización de una gammagrafía isotópica. En los casos de sospecha de nódulo fibroso doloroso en los que la ecografía no ha demostrado lesión alguna se solicitará una gammagrafía con Talio 201 inyectado tras la realización de un ejercicio físico que haya desencadenado dolor. Únicamente en los casos en que existan dudas, en lesiones muy profundas y para concretar el grupo muscular afectado, se realizará una resonancia magnética (RM).

Lo ideal es la **prevención de lesiones musculares**, fundamentalmente mediante trabajos de compensación de la fuerza de los grupos musculares agonistas y antagonistas, estiramientos, calentamiento, alimentación adecuada y especialmente con una correcta programación de las cargas de entrenamiento y de los períodos de recuperación. Si aparece la lesión, inicialmente pensaremos en un **tratamiento** conservador, en especial si no hay evidencia de afectación estructural de la fibra muscular. El objetivo en este caso será aumentar el intercambio metabólico mediante el incremento de la circulación local por medio del masaje y calor. La hidratación y el aporte de minerales, junto con los ultrasonidos, corrientes diadinámicas y onda corta pueden ser medidas complementarias, pero el papel fundamental lo desempeña el masaje suave. Tras unos días, y desaparecido el dolor, se iniciarán ejercicios de estiramiento pasivo y activo. Si, por el contrario, objetivamos la rotura de la fibra muscular, nuestro interés se centrará en conseguir una rápida cicatrización de la lesión y en que, en la medida de lo posible, la cicatriz sea elástica e indolora. Para ello utilizaremos hielo y vendaje compresivo para controlar el hematoma, inmovilización del segmento afectado y elevación de la extremidad. Ello abarcará las primeras 72 h tras la lesión, y después realizaremos una ecografía para ver el alcance de aquélla. Si hay una colección hemática importante, procederemos a su drenaje (Hurme *et al.*, 1993). El tratamiento quirúrgico lo reservaremos de forma excepcional para los casos en que la lesión afecte más de un tercio del músculo y si hay hematomas voluminosos que comprometan la circulación o cuya reabsorción sea difícil.

Lesiones de los tendones

Ante la **lesión de un tendón** es importante averiguar qué tipo de entidad existe, es decir, si estamos ante una tendinitis aguda, una entesitis insercional, una paratendinitis, una tendinosis o una degeneración crónica del tendón.

Por **tendinopatía insercional** o entenosopatía entendemos una lesión que asienta en la inserción ósea del tendón, es decir, en el área de transición entre las fibras del tendón y las trabéculas óseas. A veces la entenosopatía corresponde al envejecimiento natural de la zona y se manifiesta por una osificación intratendinosa (tendinitis calcificante), pero otras veces es secundaria a microtraumatismos de repetición que originan una desestructuración de las fibras de colágeno con aparición de nódulos fibrosos cicatrizales intratendinosos. Las lesiones óseas observadas en esta zona son microfracturas, necrosis e isquemia seguidas por alteraciones de los cartílagos. Todo ello apunta a que las lesiones tendinosas se deben a una degeneración del tendón de etiología desconocida.

Con el término **tendinosis** nos referimos a la afectación del cuerpo del tendón de carácter crónico, pero en la que no hay un proceso de inflamación. Las valoraciones anatomopatológicas de las afecciones del cuerpo del tendón identifican una alteración de las fibras de colágeno por envejecimiento unido a lesiones cicatrizales. No se aprecian células inflamatorias en el seno del tendón, pero sí ocasionalmente en el peritendón y tejido sinovial alrededor del tendón. Una explicación fisiopatológica podría ser un aumento del flujo sanguíneo local secundario a los microtraumatismos que sufre el tendón, lo que hace aumentar los mediadores celulares como reacción a la hiperemia y a la hipoxia que caracterizan el trabajo excesivo del tendón (neovascularización de bajo flujo).

Hablamos de **peritendinitis** o tenosinovitis cuando existe una afección inflamatoria de la vaina sinovial que envuelve el tendón, que puede acompañarse o no de la afectación del cuerpo del tendón. En el inicio estas lesiones suelen ser exudativas con engrosamiento de la membrana sinovial y reacción inflamatoria, provocando dolor como consecuencia de un conflicto de espacio en el interior de las vainas tendinosas de deslizamiento.

En la extremidad inferior las lesiones de tendón más habituales son las patologías del tendón de Aquiles, el rotuliano y el cuadricipital, así como el síndrome de la cintilla iliotibial y la tendinitis de la pata de ganso. En la parte superior de la extremidad, se describen la tendinitis bicipital y la enfermedad

de De Quervain.

Tendinitis del Aquiles

La **tendinitis del Aquiles** se asocia principalmente a errores de entrenamiento, pero también a la hiperpronación del pie, déficit de flexibilidad del gemelo-sóleo y a calzado inadecuado (Clement *et al.*, 1984). La **clínica** es dolor que suele aparecer después del esfuerzo. En los casos de rotura se produce un dolor violento como una pedrada y ocasionalmente la percepción de un chasquido que desaparece rápidamente, instaurándose una impotencia para realizar la extensión del pie. Como **pruebas complementarias** de diagnóstico se recomienda la ecografía, que en la mayoría de los casos permite discernir entre peritendinitis, tendinitis y rotura. Si existe duda recurriremos a la RM. El **tratamiento** es variado en función del problema etiológico y consiste en el control del proceso inflamatorio con crioterapia y AINE (antiinflamatorios no esteroideos), estiramientos tipo contracción-elongación, ejercicios de trabajo excéntrico mediante protocolo establecido (Alfredson *et al.*, 1998), corticoides en inyección local en casos seleccionados, electrocoagulación o esclerosis local de los neovasos formados bajo control ecográfico y finalmente, cuando haya desaparecido la sensibilidad a la palpación y se haya restablecido la flexibilidad, se retornará paulatinamente a la actividad. El tratamiento quirúrgico se reserva para los casos de fracaso del tratamiento conservador y para las paratendinitis adhesivas, las tendinosis y/o las roturas.

Patología del tendón rotuliano

La **patología del tendón rotuliano** está asociada a los cambios de intensidad y/o cualidad del entrenamiento del deportista, desaxaciones del aparato extensor, rótula grande, alta o bipartita y/o inestabilidad rotuliana. La **clínica** consiste en dolor que aparece de forma progresiva presentándose al inicio o al final de la actividad deportiva para finalmente hacerse continuo, lo que puede dificultar incluso la vida cotidiana del deportista. La **exploración** mostrará dolor a la palpación en el lugar de asiento del proceso inflamatorio, en el que podemos palpar un nódulo intratendinoso. Este dolor aumenta con la flexión forzada de la extremidad o la extensión contrarresistida. Las **pruebas complementarias** de diagnóstico serán la ecografía y, ante la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

sospecha de microrrotura, una RM. Las posibilidades de curación son altas si el **tratamiento** se realiza de forma inmediata ante los primeros síntomas, mientras que, si se instaura tardíamente, la evolución suele ser hacia la cronicidad. Se recomienda reposo con abstención del gesto deportivo que provoca el dolor, pudiendo ayudarnos de una cincha circular en la rodilla que disminuya las vibraciones y la tensión, así como de ortesis que favorezcan la relajación del tendón. También se aplican AINE y emplastes con pomadas de corticoides al 2%. La fisioterapia puede ayudar con crioterapia, electroterapia, masaje transversal tipo Cyriax y la programación de ejercicios excéntricos. En los últimos años se ha popularizado la esclerosis de los neovasos formados mediante electrocoagulación o sustancias esclerosantes con control ecográfico (Hoksrud *et al.*, 2006). Otras medidas coadyuvantes son la acupuntura (66% de buenos resultados), la mesoterapia y la homeopatía. Si fracasa el tratamiento conservador, podemos acudir al tratamiento quirúrgico.

Tendinitis cuadricipital

La **tendinitis cuadricipital** es menos común que las anteriores y suele estar provocada por los movimientos repetitivos sobre la rodilla en flexión máxima o casi máxima, como sucede en la halterofilia. Desde el punto de vista semiológico (tanto los síntomas **clínicos** como de las **pruebas complementarias**) y de **tratamiento**, es semejante a lo descrito para el tendón rotuliano.

Síndrome de la cintilla iliotibial

El **síndrome de la cintilla iliotibial** es un punto de conflicto entre la porción distal de la fascia lata y el cóndilo femoral externo provocado por el movimiento repetido de flexoextensión de la rodilla, como es el caso de los maratonianos y ciclistas. Son elementos predisponentes a su aparición el trabajo en terrenos con desnivel, rodilla en varo o talón en valgo. La **clínica** consiste en dolor que aparece de forma progresiva durante la carrera en el compartimiento externo de la rodilla y obligando al deportista a detenerse. Pueden reproducir el dolor los ejercicios repetidos de flexión-extensión con apoyo unipodal; al pasar por 30-40° (test de Renne), se desencadena el dolor. El **tratamiento** es mediante AINE, estiramientos o infiltraciones locales. Si

excepcionalmente no ceden los síntomas, se procede a la sección de las fibras posteriores de la fascia lata o incluso a una “Z-plastia”.

Tendinitis de la pata de ganso

La **tendinitis de la pata de ganso** es poco frecuente y se suele observar en el deportista veterano. El **diagnóstico** debe ser clínico por la localización del dolor mediante una palpación minuciosa de la zona. La flexión contrarresistida de la rodilla y la rotación externa forzada despiertan el dolor. El **tratamiento** en los casos agudos se hará mediante hielo, AINE y rehabilitación (masaje transversal tipo Cyriax). En los casos rebeldes, se puede intentar la infiltración de la zona.

Tendinitis bicipital

La **tendinitis bicipital** puede localizarse en dos puntos, uno en la correa bicipital y otro en la porción intraarticular en su inserción en la glena. Esta porción intraarticular está en íntimo contacto con el manguito de los rotadores (tendones del supraespinoso y subescapular) y el ligamento coracohumeral. Desgarros incompletos de estas estructuras se suelen acompañar de afectación del tendón del bíceps. La correa bicipital suele verse comprometida por un conflicto entre el techo acromial y la cabeza del húmero; otro problema puede ser la existencia de subluxación del tendón que sale de la correa al realizar determinados movimientos. La rotura del ligamento coracohumeral y del ligamento glenohumeral superior puede ocasionar la subluxación del tendón del bíceps. También puede producirse la rotura del tendón por procesos degenerativos de carácter crónico. La **clínica** se caracteriza por dolor localizado en la cara anterior del hombro que aumenta con las maniobras de flexión y supinación, que irradia hacia el brazo y el codo. Este dolor suele remitir con el reposo. En la subluxación, el paciente presenta dolor a nivel del surco bicipital que aumenta con las maniobras de elevación y rotación del brazo, pudiendo referir una sensación de chasquido o resaca. En los casos de rotura suele existir una historia anterior de dolores de repetición que obligaron a la infiltración de dicha zona, y que en el momento de la rotura alivia los síntomas, apareciendo la deformidad del brazo. La **exploración** mediante las pruebas de Ludington, Speed, Yergason y de inestabilidad del bíceps nos ayudarán a concretar la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

lesión del tendón (Olivé, 2000). Las **pruebas complementarias** principales son la ecografía y la RM. En las tendinitis primarias se puede aplicar todo el protocolo descrito del **tratamiento** conservador de las tendinitis, desde la crioterapia inicial hasta los AINE y el reposo del deporte. Cuando el dolor haya desaparecido deberemos iniciar un programa de musculación del hombro. Si existe una luxación del tendón, generalmente por una patología del intervalo de los rotadores, la indicación será quirúrgica para estabilizar el tendón y reparar los ligamentos afectados. En las roturas agudas del tendón en pacientes jóvenes y deportistas, teniendo presente que el tendón del bíceps es un elemento estabilizador de la cabeza humeral, intentaremos reinsertarlo, y si ello no es posible, lo anclaremos con una grapa al nivel de la corredera bicipital.

Enfermedad de De Quervain

La **enfermedad de De Quervain** es una tenosinovitis del extensor corto y del abductor largo del pulgar, siendo los deportistas con mayor afectación los que han de realizar un agarre fuerte de algún instrumento, así como una desviación cubital o un uso repetitivo del pulgar. La **clínica** es un dolor localizado en la apófisis estiloides del radio y lo desencadena la **exploración** por la maniobra de Finkelstein: el paciente realiza una flexión del pulgar hacia la palma mientras el examinador realiza una desviación cubital de la muñeca, lo que produce una tensión máxima en ambos tendones y dolor. También la extensión del pulgar contrarresistida con la muñeca en desviación radial máxima desencadena el dolor. El **tratamiento** inicial es el reposo, la administración de AINE y la infiltración local con corticoides. Si este tratamiento no resuelve el caso, se requiere la colocación de una férula inmovilizadora que puede prolongarse por espacio de 6 semanas. Si con ello no se consigue la mejoría del cuadro, hemos de pensar en la intervención quirúrgica con liberación de los tendones de la corredera.

Patología ósea por sobrecarga

Fractura por estrés

La **fractura por estrés** describe las fracturas que se producen sobre un hueso

sano no por un episodio traumático agudo como es la fractura habitual, sino por un traumatismo repetitivo de moderada intensidad que por sí solo no es capaz de producir la fractura del hueso. Es una patología por la falta de adaptación del hueso al esfuerzo físico al que es sometido, lo que produce una incapacidad del remodelado del hueso sano que se ve sobrepasado por las solicitudes que le imponemos con el ejercicio físico (Olivé, 2000). Los factores predisponentes son la actividad física intensa e inadecuada, cambios del programa de entrenamiento, calzado y superficie de juego, fatiga muscular, deficiencias nutricionales, baja densidad ósea (osteoporosis), factores biomecánicos estáticos (estructurales de la extremidad) y/o dinámicos (frecuencias e intensidad del impacto, velocidad de pronación en el apoyo, etc.). El tipo de actividad física tiene una influencia directa en la localización de las fracturas: en el radio, cúbito y los metatarsianos del pie en los lanzamientos; fracturas ístmicas vertebrales en la gimnasia, tenis, judo y baloncesto; fracturas por estrés costales en el golf, y calcáneo en la corredora de larga distancia. La **clínica** consiste en dolor de características mecánicas, selectivo en la zona de la fractura, que aumenta con la presión pero sobre todo con el ejercicio físico y mejora con el reposo. Puede existir edema local, y excepcionalmente eritema. El dolor también puede aparecer por la percusión o por la vibración de un diapasón. Como **pruebas complementarias** se recomienda una radiografía simple de la zona con placa de mamografía, ya que es más sensible. La radiografía permanece negativa hasta que no han pasado las primeras 3 a 6 semanas del inicio del dolor. La gammagrafía con tecnecio⁹⁹ suele ser positiva unas 2 semanas antes de que aparezca la imagen en la radiografía. Sólo en los casos de duda solicitaremos una TC o una RM, que podrán ayudarnos a establecer el diagnóstico. El **tratamiento** inicial debe ser ortopédico, con descarga del segmento afectado, y sólo después de un reposo bien controlado, y si persiste la fractura, se indicará la osteosíntesis quirúrgica. En la fractura por fatiga por distracción del cuello femoral, la mayoría de los autores recomiendan el tratamiento quirúrgico inicial debido al gran peligro de desplazamiento de estas fracturas (Boscagli *et al.*, 1985).

Periostitis

La **periostitis** describe los fenómenos de irritación del periostio provocados por las tensiones de repetición a que es sometido por las inserciones

musculares y su aponeurosis. Su principal localización corresponde a la región anterior de la tibia. Los límites entre la periostitis, el síndrome compartimental y la fase inicial de una fractura por fatiga son difíciles de establecer. Las vibraciones producidas por el impacto del pie sobre superficies duras, el cansancio muscular o el desgaste de la suela del calzado serían factores favorecedores de esta patología. Otro factor a destacar son las sesiones de entrenamiento sobre planos inclinados, mal planificadas en intensidad o duración. Además, los factores estructurales del aparato locomotor como la dismetría de extremidades, el pie plano valgo, la rotación externa de la cadera, torsión tibial externa y el genu varo o genu valgo facilitan la aparición de la entidad. Ello provocaría una rotura de los microvasos del periostio endógenos que desencadenaría un proceso inflamatorio responsable del cuadro. La **clínica** es dolor que se localiza en la cara interna de la tibia unos tres dedos por encima del tobillo, y ocasionalmente en la cara lateral. En el inicio, el dolor sobreviene con cada impacto del talón en el suelo en la práctica de la actividad deportiva, pero paulatinamente el dolor aparece ante cualquier actividad física limitando incluso la actividad de la vida diaria. A diferencia de la fractura por fatiga, el dolor no es en un punto concreto, sino más difuso. De las **pruebas complementarias**, la radiografía simple de la zona suele ser negativa, siendo la gammagrafía con tecnecio⁹⁹ la prueba por excelencia. El **tratamiento** es difícil, pues es ésta una patología que reaparece de forma frecuente. Se dejará al deportista en reposo por un espacio de tiempo de 15 días a un mes y medio. Durante este tiempo se someterá al deportista a tratamiento con AINE, fisioterapia mediante hielo y corrientes de baja frecuencia, junto con electroestimulación en pequeñas dosis. Cuando el dolor desaparezca, estará indicado reiniciar la actividad deportiva de forma progresiva. Sólo en los casos de fracaso, y de forma muy excepcional, se recomienda la decorticación del periostio.

Síndrome compartimental crónico

El **síndrome compartimental crónico** aparece tras un esfuerzo físico continuado que ocasiona un aumento del volumen muscular muy rápido que no se ve acompañado por su correspondiente distensión de la envoltura aponeurótica (Olivé, 2000). Su fisiopatología obedece a un aumento de la presión a nivel del compartimiento limitado por estructuras rígidas como son

el hueso y las membranas aponeuróticas, lo que en determinadas condiciones deteriora la circulación y la transmisión de los nervios situados en dicho compartimiento. La **clínica** es dolor asociado a la isquemia relativa que obliga en un tiempo más o menos corto a detener la marcha o el ejercicio que se esté realizando con la extremidad. El paciente afecto de un síndrome compartimental crónico presenta una presión intracompartimental superior a la normal, probablemente porque el compartimiento es demasiado pequeño para el volumen muscular que alberga o porque las aponeurosis son demasiado gruesas o rígidas. Es decir, que hay una mala adecuación del contenido (volumen muscular) respecto al continente (aponeurosis envolventes). El dolor aparece con el esfuerzo físico y desaparece con su conclusión. El deportista refiere que los síntomas son de aparición progresiva durante meses o años y que se van repitiendo ante esfuerzos de una misma intensidad o duración. Si el deportista no realiza actividad física, estará asintomático, sin que haya repercusión neurológica o vascular alguna. La **exploración** mediante la palpación del compartimiento objetiva una tensión o un dolorimiento difuso. La movilización activa del grupo muscular del compartimiento ocasiona dolor y claudicación muscular. El estiramiento pasivo de los músculos puede producir dolor. El síndrome compartimental crónico se localiza en la pierna, pudiendo afectar el compartimiento anterior, anterolateral y/o posterior, pero también puede afectar el antebrazo, el muslo, el pie o la mano. La **prueba complementaria** más útil es la medición de la presión intracompartimental mediante un esfigmomanómetro o un set comercial que permite la medición directa con manómetro y aguja con catéter. La aponeurectomía de las aponeurosis de los compartimientos afectados es el **tratamiento** más adecuado.

Lesiones de la articulación del hombro

Inestabilidad glenohumeral

Con el término laxitud nos referimos a la posibilidad de que la cabeza humeral sea movilizada pasivamente de la fosa glenoidea, y con el término inestabilidad nos referimos a la traslación de la cabeza humeral provocando malestar y una disfunción de la movilidad del hombro. La **inestabilidad glenohumeral** puede tener un origen traumático o ser constitucional

(hiperlaxitud), de carácter unidireccional o multidireccional, y asociada o no a lesiones óseas (lesión de Bankart ósea). Inicialmente, ante un primer episodio podemos optar por un tratamiento conservador, pero en el caso de los deportistas, especialmente profesionales, en los últimos años se suele realizar un tratamiento quirúrgico (artroscopia) para valorar las lesiones ocurridas tras el primer episodio traumático, ya que con tratamiento conservador, sobre todo en deportes de contacto, el índice de recidivas es del 90%.

La mayoría de las luxaciones de hombro son anteroinferiores. Las luxaciones posteriores son raras, en cuyo caso nos encontramos con un hombro en rotación interna irreducible. En la luxación traumática, la **clínica** se caracteriza por impotencia funcional de la extremidad con dolor muy intenso capaz de ocasionar una lipotimia. En la luxación recidivante, el dolor suele ser de menor intensidad y lo que preocupa al paciente es la inseguridad al realizar determinados movimientos y que el hombro se salga de sitio. En la **exploración** objetivaremos un brazo en abducción y una pérdida de la forma del hombro con desaparición de la cabeza humeral, habiendo en su lugar una depresión (desaparición del muñón del hombro). La palpación muestra la cabeza humeral en la zona del músculo pectoral, estando ausente de su lugar natural y palpándose la cavidad glenoidea vacía. La exploración del hombro inestable mediante las maniobras del sulcus test, test de la aprensión y maniobra de Rockwood nos orientará hacia el tipo de inestabilidad (Olivé, 2000). Cabe aplicar diversas **pruebas complementarias**. La radiografía simple es un examen obligatorio en todos los casos de luxación aguda del hombro para valorar dónde está la cabeza humeral. El artro-Tac tiene un lugar destacado para valorar las posibles lesiones de la cápsula y del rodete glenoideo. La RM aportará información muy valiosa sobre el estado de las partes blandas periarticulares, así como de los músculos que rodean la articulación. El **tratamiento** se basará en los hallazgos de la exploración del paciente. En los casos agudos, primero reduciremos el hombro. Una vez pasado el período agudo, hay que valorar ante qué tipo de inestabilidad nos encontramos y realizar el tratamiento adecuado. En la actualidad se tiende a reconstruir por vía artroscópica las lesiones ocasionadas en el episodio agudo reinsertando la cápsula articular al borde de la glena. En los casos en que los elementos estabilizadores estén muy deteriorados podremos recurrir a la plicatura de la cápsula o a la utilización de elementos periarticulares (tendón de músculo coracobraquial) para estabilizar la articulación, en especial en

practicantes de deportes de contacto. En caso de hiperlaxitud, en la que el antecedente traumático no se ha llegado a producir, pero sí hay clínica de dolor o inestabilidad, intentaremos reducir el volumen de la cápsula mediante su plicatura o electrocoagulación. Una vez concluido el procedimiento quirúrgico, se introducirá al paciente en un programa de rehabilitación para inicialmente conseguir una completa movilidad articular mediante trabajo asistido pasivo, como la técnica de diagonales de Kabat; en un segundo tiempo se iniciará un trabajo en la piscina con movimientos activos del paciente favorecidos por la flotabilidad del medio acuático, y en un tercer tiempo se procederá a la potenciación muscular de los elementos dinámicos de la articulación.

Artropatía microtraumática de la articulación acromioclavicular

La **artropatía microtraumática de la articulación acromioclavicular** es una patología degenerativa de esta articulación que aparece en un cierto número de deportistas que presentan microtraumatismos repetitivos en dicha zona: judocas por caídas frecuentes, practicantes de lucha grecorromana o libre, jugadores de rugby y practicantes de halterofilia. También afecta esta entidad a quienes obligan a dicha articulación a grandes movimientos, como son los jugadores de golf, tenis, squash o voleibol. La **clínica** se caracteriza por dolor, que inicialmente aparece al finalizar un ejercicio físico y se localiza en la zona articular. Posteriormente el dolor se hace continuo y se acentúa con ciertos movimientos específicos como son la aducción horizontal forzada y la palpación local de la articulación. Los movimientos pasivos del hombro son normales y no hay ningún signo de afectación del manguito de los rotadores. La maniobra específica que desencadena un franco dolor es el “Crosarm test”, que consiste en colocar el brazo del paciente en aducción horizontal forzada, con el codo flexionado 90°, e imprimir una compresión en dirección a la articulación (Olivé, 2000). La **prueba complementaria** que debe utilizarse es la radiografía simple, y, en caso de duda, nos podemos ayudar de la TC o de la RM. El **tratamiento** conservador implica la interrupción de la actividad deportiva (responsable de los microtraumatismos) durante un período de alrededor de 3 meses, toma de AINE y en algunos casos infiltración local. Si el tratamiento conservador no da resultados, se procederá al tratamiento quirúrgico mediante la resección del extremo distal

de la clavícula que solucionará definitivamente el problema.

Luxación acromioclavicular

El mecanismo de una **luxación acromioclavicular** es generalmente una caída sobre el muñón del hombro que imprime una fuerza suficiente que en primer lugar rompe los ligamentos capsulares, trapezoides y conoideos; si la fuerza es mayor, seguirá con la cincha que representan los músculos deltoides y trapecio. Otro mecanismo causal es la caída sobre la mano con el brazo extendido que ocasiona la rotura de los ligamentos acromioclaviculares sin afectación de los ligamentos coracoclaviculares. La luxación acromioclavicular puede clasificarse en varios estadios. **Estadio I:** distensión de los ligamentos acromioclaviculares. **Estadio II:** rotura de los ligamentos acromioclaviculares y distensión de los ligamentos coracoclaviculares que determinan inestabilidad horizontal de la clavícula. **Estadio III:** rotura de los ligamentos acromioclaviculares y coracoclaviculares, con desplazamiento del 25-100% de la articulación acromioclavicular, extremo distal de la clavícula inestable vertical y horizontal. **Estadio IV:** rotura de los ligamentos acromioclaviculares y coracoclaviculares, de la fascia deltotrapezoide, prominencia del acromion y desplazamiento del extremo distal de la clavícula posterior, que es fijo cuando hay perforación del trapecio. **Estadio V:** rotura de los ligamentos acromioclaviculares y coracoclaviculares, desplazamiento exagerado de la articulación acromioclavicular (100-300%), rotura de la fascia deltotrapezoide y extremo distal de la clavícula inestable vertical y horizontal. **Estadio VI:** rotura de los ligamentos acromioclaviculares y coracoclaviculares, luxación inferior con el extremo distal de la clavícula en posición subacromial o subcoracoidea. La **prueba complementaria** inicial debe ser la radiografía simple. El **tratamiento** en los estadios I y II será meramente sintomático con la colocación de un colgante durante 2 semanas. El hielo y los AINE serán de ayuda. Trabajo isométrico del deltoides y el tríceps. Si no respetamos el reposo en este período, quedarán dolores residuales difíciles de tratar posteriormente. En los estadios III a VI se requiere tratamiento quirúrgico. Tras la cirugía, a los 3 días del período postoperatorio iniciaremos los movimientos pasivos en péndulo. A partir de las 6 semanas se iniciará la recuperación de la movilidad integral del hombro y posteriormente se procederá a la potenciación de los músculos periarticulares.

Lesiones de la articulación del codo

Epicondilitis

La **epicondilitis** es la lesión por sobreuso más frecuente del codo; es habitual en tenistas, pudiendo afectar también a lanzadores, nadadores y tiradores de esgrima. La **clínica** se caracteriza por dolor en la cara externa de la articulación del codo que puede tener orígenes diversos, agrupados en cuatro entidades patológicas: la entesitis de la inserción de los músculos epicondíleos, que es la más frecuente; la afectación de la articulación humerorradial; la compresión neurológica local, y el dolor irradiado de origen cervical. El dolor es el síntoma dominante, de inicio lento y progresivo, que va en aumento con la práctica de la actividad deportiva. La **exploración** nos presenta unas veces un engrosamiento paraepicondíleo, y otras, un derrame articular. Hay dolor a la extensión activa del codo, que en ocasiones está limitada, mientras que la movilización pasiva del codo suele ser indolora. La ecografía y la radiología son las **pruebas complementarias** recomendadas. Inicialmente el **tratamiento** es conservador mediante reposo de la movilidad articular en los movimientos que desencadenan el dolor. La fisioterapia nos puede ayudar mediante el masaje transversal profundo (masaje tipo Cyriax). Si esto fracasa, debe acudirse a la infiltración local con corticoides con un máximo de tres. Si el tratamiento conservador no es efectivo, se procederá a realizar tratamiento quirúrgico.

Epitrocleítis

La **epitrocleítis** es la entesitis de inserción de los músculos epitrocleares. El movimiento esencial que desencadena esta entesitis se realiza en el momento del servicio en el tenis, en el lanzamiento de jabalina y en el golf. En todos ellos se produce desde la posición inicial de extensión completa del codo una pronación forzada del antebrazo, una flexión de la muñeca y una inclinación cubital. La **clínica** se caracteriza por dolor en la cara anterointerna del codo, que irradia a la porción cubital del antebrazo, y por dolor selectivo a la palpación de la cara anterior. Los movimientos contrarresistidos como la flexión de la muñeca y los dedos y la pronación e inclinación cubital despiertan franco dolor en la epitroclea. Las **pruebas complementarias** recomendadas son la radiografía y la ecografía. El **tratamiento** debe ser

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

conservador inicialmente mediante reposo de la articulación respecto al movimiento que desencadena el dolor, AINE y generalmente infiltración local con corticoides. Antes podemos ensayar la iontoforesis y los ultrasonidos, así como el masaje transversal profundo tipo Cyriax. En caso de fracaso se procederá al tratamiento quirúrgico mediante la desinserción de la musculatura epitroclear.

Tendinitis y/o rotura bicipital distal

La inserción distal del bíceps se realiza en la tuberosidad bicipital del radio. En ocasiones se produce un cuadro de dolor que puede corresponder a una tendinitis, rotura o desinserción de esta porción distal. La **tendinitis y/o rotura bicipital distal** es propia de deportes como la gimnasia, los lanzamientos y la halterofilia, en los cuales se producen sollicitaciones sobre esta inserción tanto en flexión como en hiperextensión. La **clínica** es dolor localizado en su cara anterior que se acentúa con las maniobras contrarresistidas de flexión forzada y supinación. En caso de rotura puede percibirse una sensación de chasquido. La ecografía y la RM son las **pruebas complementarias** recomendadas. El **tratamiento** requiere reposo y corrección del gesto deportivo. Si con ello no se observa una buena evolución, podemos intentar un tratamiento mediante infiltración local, especialmente si hay bursitis. En caso de rotura se requiere tratamiento quirúrgico, pues de lo contrario el paciente perderá en gran parte la supinación del antebrazo.

Tendinitis tricipital

La **tendinitis tricipital** es una patología rara que afecta básicamente a deportes como ciclismo, karate, lucha, esquí de fondo, gimnasia y lanzamiento de jabalina. La **clínica** se caracteriza por dolor en la cara posterior del codo que se reagudiza con las maniobras de extensión contrariada. Como **pruebas complementarias** se recomiendan los estudios radiológicos y ecográficos. Como en todas las entesopatías, el **tratamiento** es inicialmente reposo, masaje transversal de Cyriax y ocasionalmente infiltración peritendinosa.

Lesiones de la articulación de la rodilla

Patología meniscal

El mecanismo de la **patología meniscal** es una maniobra de compresión en varo o valgo asociada a la rotación durante el recorrido de la flexoextensión. Ello explica que el paciente suele referir que, estando en apoyo unipodal, hizo un movimiento de torsión del cuerpo sobre la rodilla flexionada con el pie bloqueado en el suelo. Otro mecanismo lesional se produce al incorporarnos desde la posición de cuclillas y apoyarnos en un solo pie. El origen de la lesión del menisco más habitual en deportistas es la traumática, mientras que en el adulto añoso es la degenerativa. La **clínica** que refiere el deportista suele ser dolor en la cara posterior de la rodilla con los movimientos de hiperflexión cuando existe una afectación del cuerpo posterior del menisco; si es el menisco el lateral, el dolor se localizará en la cara externa, y si es el interno, en la cara medial. En general hay una sensación de seudobloqueo, que, una vez vencido, se convierte en resalte. Ocasionalmente puede haber derrame articular aunque mínimo, principalmente si existe irritación sinovial. Más rara es la sensación de inestabilidad. De las **pruebas complementarias**, las radiografías simples no suelen aportar datos a no ser que exista una rotura ósea acompañante, y en casos de duda razonable, la RM es la de elección. La artroscopia es el medio terapéutico actualmente usado para el **tratamiento**, dándonos la posibilidad de actuar sobre la lesión, suturándola, resecándola, o realizando un trasplante.

Rotura del ligamento cruzado anterior

La **rotura del ligamento cruzado anterior** suele producirse por un mecanismo indirecto cuando el miembro se encuentra en desequilibrio y se desencadena una contracción violenta del cuádriceps por mecanismo propioceptivo. Ello ocasiona una antepulsión junto a una rotación interna, desencadenada por el desequilibrio, que trae como consecuencia la rotura. Ésto es lo que sucede al halterófilo o al esquiador que intentan recuperar la verticalidad mediante una hiperextensión con retroceso de la extremidad. Otra posibilidad de lesión se produce con el pie sin apoyo y la extremidad elevada, donde la acción del cuádriceps es el agente lesivo, como la patada al aire del futbolista o la hiperextensión incontrolada del gimnasta o del

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

saltador. La **clínica** inicialmente objetiva una sensación de que “algo se ha roto en la rodilla”, fallo e inestabilidad, mientras que el dolor, al contrario de lo que pasa con el ligamento cruzado posterior, tiene un papel secundario. El derrame articular suele aparecer tardíamente (12 h). Para su diagnóstico se puede realizar diferentes pruebas de **exploración** como el test de Lachman, el test del cajón anterior y la maniobra de “pivot shift” o del resalte dinámico (Olivé, 2000). Como **pruebas complementarias** se recomienda la radiología simple, la radiología dinámica, el artrómetro y la RM. La artroscopia es la exploración indicada cuando la lesión, tras un examen clínico exhaustivo, no muestra claramente la rotura del ligamento. Con ella se podrá obtener una visión clara del estado y la funcionalidad del ligamento. Además, con las técnicas actuales podremos solucionar el problema si vemos la lesión. En los deportistas, el **tratamiento** mediante actuación quirúrgica es la conducta a seguir. A los 3 días del período postoperatorio el deportista puede comenzar la rehabilitación llevando una férula funcional articulada tipo Don-Joy que permite una movilidad articular de 0-90° (extensión completa y flexión limitada a 90°). Al paciente se le marcan una serie de ejercicios de flexoextensión activa, con un mínimo de 3 sesiones diarias, autorizándose el apoyo en descarga con ayuda de bastones y carga a partir de la tercera semana. Durante este período, los fisioterapeutas realizan maniobras de movilización de los fondos de saco y de la cicatriz para evitar adherencias. A las 6 semanas la movilidad de la rodilla debe alcanzar los 110° de flexión e intentar conseguir la extensión completa. El objetivo es alcanzar a las 8-12 semanas la movilidad completa sin limitaciones, momento en el que iniciaremos la musculación de la zona, retirando la férula articulada a partir de la novena semana. Al tercer mes el paciente iniciará la carrera continua, autorizándose en líneas generales la reincorporación a la actividad deportiva en los deportes sin contacto a partir de los 6-7 meses y en los de contacto en el noveno mes (Howell *et al.*, 1995).

Rotura del ligamento cruzado posterior

La **rotura del ligamento cruzado posterior** es infrecuente, siendo su incidencia el 3-10% de las lesiones de la rodilla. En el ámbito deportivo, la lesión del ligamento cruzado posterior se produce en caídas sobre la rodilla flexionada y el pie en flexión plantar, dado que con ello se produce un desplazamiento posterior del tercio proximal de la tibia y la flexión plantar

favorece la transmisión de la fuerza sobre el ligamento. Un segundo mecanismo de lesión es la hiperflexión forzada de la rodilla con el pie en flexión plantar o dorsal, y más si la hiperflexión es brusca. Un tercer mecanismo lesional sería la hiperextensión brusca, que, si es muy importante, podría incluso arrastrar el ligamento cruzado anterior. Otra situación crítica sobre el ligamento cruzado posterior se produce cuando el deportista intenta hacer un cambio de dirección pasando rápidamente el peso de un pie al otro. Este pie descargado tiene la rodilla mínimamente flexionada; al rotar el cuerpo del deportista, el fémur hace una rotación interna y una traslación anterior, lo que ocasiona una rotación externa y una fuerza posterior relativa en la rodilla que favorece la lesión del ligamento. La **clínica** se caracteriza por tumefacción leve, dolor e impotencia funcional, pero lo más frecuente es que haya dolor que aumenta con la marcha y al bajar escaleras, así como pérdida de seguridad al cambiar rápidamente de dirección. Pero, al revés de lo que pasa en los fallos del ligamento cruzado anterior, no hay grandes episodios de fallo articular. La movilización pasiva de la rodilla suele ser indolora hasta los 90°; a partir de aquí hay dolor. Las maniobras de **exploración** son la prueba del cajón posterior, el “signo de la caída posterior” y el test de Godfrey (Olivé, 2000). Como **pruebas complementarias** son útiles las radiografías convencionales en estrés y la RM. En líneas generales, en los deportistas es necesario realizar un **tratamiento** quirúrgico en el caso de que las lesiones del ligamento provoquen una luxación posterior evidente de la tibia. Por el contrario, cuando no sea evidente la subluxación, se indicará tratamiento conservador. El tratamiento conservador consistirá en la inmovilización de la rodilla en extensión, con apoyo precoz que nos ayudará a mantener la relación femorotibial reducida durante la fase de cicatrización.

Lesión del ligamento lateral interno

Las lesiones de los ligamentos laterales son frecuentes en los deportistas, especialmente en fútbol, rugby, baloncesto, esquí, deportes de combate y motocross. La **lesión del ligamento lateral interno** suele localizarse en la inserción femoral y más raramente en la inserción tibial. El mecanismo lesional suele ser una maniobra de valgo más que una rotación externa. Las lesiones bajas (en la inserción de la tibia) suelen obedecer a un mecanismo complejo de valgorrotación externa o de rotación externa forzada. En función del tipo de lesión, la **clínica** se caracteriza por dolor que se localiza en la

inserción superior, media o inferior, acompañado de signos inflamatorios en la parte interna de la rodilla. El dolor se reactiva con los movimientos de flexoextensión, maniobras de valgo y rotación interna. Si existe sólo elongación, la rodilla será estable; si la rotura es parcial, el bostezo será mínimo o inexistente, y si la rotura es total, la articulación se abrirá (bostezo articular). En la **exploración** se despertará dolor al palpar el ligamento en el lugar de la rotura. En la rotura completa no se podrá realizar la extensión completa de la extremidad ni superar la flexión de 110-120°. La ecografía, la RM y especialmente las radiografías forzadas en estrés son **pruebas complementarias** de interés para el diagnóstico. Como norma, las lesiones del ligamento lateral interno aisladas suelen tener una indicación de **tratamiento** conservador. En las lesiones leves, cuando sólo existe una elongación del ligamento, se colocará hielo y un vendaje elástico junto a un tratamiento antiinflamatorio durante 7-8 días, pudiendo, por lo general, volver a la práctica deportiva a partir de la segunda semana. En los casos de rotura parcial o total se colocará una ortesis funcional cruromaleolar con un flexo de 20-30° que tendrá que llevarse durante 21 días en los casos leves y hasta 6 semanas en los casos más graves. Después de este período de tiempo se iniciará el tratamiento fisioterápico para favorecer la rápida recuperación del paciente, con trabajo propioceptivo y musculación posterior.

Lesión del ligamento lateral externo

La **lesión del ligamento lateral externo** es menos frecuente que la lesión de ligamento lateral interno y suele afectar la inserción en la cabeza del peroné, que en los casos graves puede arrancar. Ante una lesión del ligamento lateral externo siempre estaremos obligados a buscar lesiones asociadas del pivote central y el tubérculo de Gerdy. El mecanismo lesional responde a una maniobra de varo forzado con ligera flexión y rotación interna. La **clínica** es menos aparatosa que la de las lesiones del ligamento lateral interno, hay dolor a la palpación que se exagera en la maniobra de varo forzado, rotación interna y/o maniobras combinadas. Cuando hay rotura, existe un bostezo articular evidente con el movimiento en varo forzado e impotencia funcional. Las **pruebas complementarias** de interés son la RM y especialmente las radiografías en estrés. En general, el **tratamiento** será mediante una calza de yeso o una férula articulada con un flexo de 20-30° y siguiendo el mismo protocolo que para el ligamento lateral interno. Pero en este caso, si el

bostezo articular es muy importante, cabría plantearnos la sutura quirúrgica.

Síndrome de hiperpresión rotuliana externa

En el **síndrome de hiperpresión rotuliana externa** la **clínica** objetiva dolor localizado generalmente en la cara externa de la rótula provocado por la hipertensión del alerón externo. De las **pruebas complementarias**, en la exploración radiológica vemos un ángulo Q aumentado ($>20^\circ$) y ocasionalmente una rótula alta en la proyección de perfil, así como un aumento de la densidad ósea en la carilla externa de la rótula. La TC muestra una rótula inclinada lateralmente. No suele haber derrame articular, aunque sí discreto roce rotuliano. El **tratamiento** inicialmente es conservador, consistente en la limitación de la actividad de aquellos ejercicios que provoquen dolor y sobrecarga en la articulación de la rodilla. Se puede asociar ortesis (neopreno) con refuerzo lateral que relaje la tensión del alerón si el paciente tiene que participar en alguna competición, retirándola posteriormente para evitar la atrofia muscular que suele aparecer tras un uso continuado. Si el dolor es intenso, se requiere administrar AINE. Una vez desaparecido el dolor, ya que con dolor es difícil que el músculo responda al trabajo rehabilitador, se inicia un programa de rehabilitación encaminado a la potenciación del músculo cuádriceps, principalmente del vasto interno. Para ello, se utiliza un trabajo isométrico con la rodilla en extensión completa. Posteriormente se introducen ejercicios isotónicos iniciándose desde 45° hasta la extensión completa, quedando contraindicados los ejercicios de flexoextensión entre 40° y 90° , ya que sobrecargan la articulación y son dolorosos. Los beneficios se obtendrán después de un mínimo de 6 semanas de tratamiento rehabilitador. Si con el tratamiento conservador no se consigue el objetivo pretendido, y transcurridos aproximadamente 3 meses de un tratamiento rehabilitador intenso, se indicará el tratamiento quirúrgico.

Luxación rotuliana aguda

La **lesión rotuliana aguda** se produce tras un traumatismo violento sobre una rodilla hasta la fecha sana, si bien en algunos casos subyace una anomalía estructural de la rodilla que había pasado desapercibida (70% de los casos). La **clínica** se caracteriza porque el deportista refiere dolor agudo muy importante seguido de derrame articular junto con equimosis de la región

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

pararrotiliana interna. En la **exploración** hay dolor en el alerón interno con signo de la aprensión positivo: realizamos la flexión de la rodilla y provocamos la luxación externa de la rótula al unísono; el paciente detiene el movimiento por la sensación de salida de la rótula. El **tratamiento** inicial es conservador, excepto cuando hay fractura osteocondral, en cuyo caso debemos proceder a fijar el fragmento o a retirarlo si es muy pequeño. También, si el estudio radiológico muestra una subluxación o inclinación lateral de la rótula, se recomienda tratamiento quirúrgico de entrada para corregir las alteraciones estructurales.

Luxación rotuliana recidivante

La **luxación rotuliana recidivante** se caracteriza por presentarse en deportistas jóvenes que han sufrido al menos un episodio de luxación aguda y han recibido tratamiento conservador. La **clínica** se caracteriza porque el paciente explica cuadro de fallos de la rodilla más que dolor. El **tratamiento** debe ser inicialmente conservador siguiendo la misma pauta indicada en el síndrome de hiperpresión rotuliana. Si con ello no se controlan los episodios de luxación, se debe proceder al tratamiento quirúrgico.

Condropatía rotuliana

La **condropatía rotuliana** es la afectación del cartílago articular generalmente por sobrecarga, aunque en ocasiones es secundaria a un traumatismo directo. De aquí el término condropatía o condromalacia. Las lesiones que podemos ver en el cartílago fueron clasificadas por Outerbridge en cuatro grados que pueden ser o no evolutivos. En el **grado I** se observa cartílago blando y edematoso fácilmente deprimible por el gancho de artroscopia, en el **grado II** hay fisuración, en el **grado III** hay fragmentación y desprendimiento de las capas superficiales (carne de cangrejo), y en el **grado IV** hay erosión del cartílago con visualización del hueso subcondral. La etiología puede encontrarse en el envejecimiento por un aumento de la presión por mala alineación del aparato extensor, inmovilización prolongada que dificulta el bombeo de líquido articular y de nutrientes, y por traumatismo agudo. En algunos casos se desconoce la causa. La **clínica** se caracteriza por dolor, que suele ser de aparición progresiva principalmente al subir y bajar escaleras, lo que obliga al individuo a estirar la pierna cuando

lleva tiempo flexionada. De las **pruebas complementarias** la RM es una buena herramienta diagnóstica, y en caso de duda se debe recurrir a la artroscopia. El **tratamiento** dependerá de la causa responsable y de la superficie articular afectada. En las fases iniciales se debe empezar por el tratamiento conservador durante al menos 6 meses con reposo y crioterapia, y ejercicios isométricos de cuádriceps, pudiéndose añadir antiinflamatorios en las dos primeras semanas. Con ello se obtienen buenos resultados en el 82% de los casos. Si este tratamiento fracasa, podemos indicar las inyecciones intraarticulares de ácido hialurónico, que son más eficaces en los grados I y II que en el grado IV. Si a pesar de ello no se consigue una mejoría, se pasará al tratamiento quirúrgico.

Osteocondritis disecante de la rodilla

La **osteocondritis disecante de la rodilla** se caracteriza por la existencia de un dado de cartílago unido al hueso subcondral subyacente que se separa del resto de la superficie articular. Puede localizarse tanto en la rótula como en los cóndilos. Se han divulgado diferentes teorías como causas: isquemia, traumatismo o etiología idiopática. Uno de los peligros es que este fragmento se desprenda y se convierta en un cuerpo libre intraarticular. Las **pruebas complementarias** de interés son la radiología, la TC y fundamentalmente la RM. El **tratamiento** depende de la viabilidad del fragmento afectado; inicialmente pensaremos en un tratamiento conservador (reposo de los movimientos que ocasionan dolor y trabajo isométrico de cuádriceps) si el paciente presenta poca clínica. Cuando el fragmento tenga vitalidad pero haya peligro de que se desprenda, procederemos a su fijación, mientras que, si no es viable, nos plantearemos la mosaicoplastia, y en caso de mayor clínica se requiere tratamiento quirúrgico.

Plica sinovial

La **plica sinovial** la forman repliegues de la membrana sinovial, situados a nivel superior, medio e inferior, que no están presentes en todos los sujetos. En el caso de rotura, la **clínica** se caracteriza porque puede manifestarse dolor, sensación de bloqueo articular y chasquido de la rodilla. De las **pruebas complementarias** el diagnóstico es básicamente artroscópico, aunque ocasionalmente se visualiza por RM. El **tratamiento** es la resección

de la plica por vía artroscópica.

Lesiones de la articulación del tobillo y pie

Esguince de tobillo

El **esguince de tobillo** es una de las lesiones más frecuentes por las que acude a la consulta el deportista. En general podemos decir que representa un 25% del total de lesiones que se producen por causas deportivas. El 85% de los esguinces de tobillo se producen por un mecanismo de inversión que afecta el ligamento lateral externo. El esguince del ligamento deltoideo representa el 5-6%, mientras que el restante 10% lo forman las afectaciones de la sindesmosis. Clínicamente los esguinces se clasifican en diferentes grados en función de la gravedad. El **grado I** está asociado a una elongación caracterizada por signos de dolor local a nivel del fascículo anterior del ligamento lateral externo, con aparición de un edema e impotencia funcional mínima que en 3-4 días cede. Esta lesión puede aparecer como primer episodio sobre un tobillo que nunca antes ha sufrido una lesión o sobre un tobillo que ha sufrido ya diversos esguinces, y entonces se está ante un cuadro de esguinces benignos recidivantes. En estos casos, el deportista suele presentar alguna alteración morfológica o estructural como pie cavo o torsión tibial externa. El **grado II** implica una rotura parcial del ligamento, asociada a signos locales como la equimosis en el borde externo del pie, sobre la zona del ligamento roto por delante del maléolo externo, que en ocasiones no aparece de forma inmediata sino en los minutos posteriores al accidente, existiendo impotencia funcional. El bostezo articular suele ser inferior a 10°. El **grado III** implica la rotura total del ligamento asociada a dolor inicial muy intenso que posteriormente puede ir cediendo (cuanto mayor es la rotura, menor es el dolor local), aparición de un hematoma importante, hinchazón premaleolar, impotencia funcional muy marcada e inestabilidad articular con bostezo superior a los 15°. De las **pruebas complementarias**, la radiología convencional es de utilidad, pero siempre es necesario, en el caso de deportistas, proyecciones radiológicas funcionales en estrés y comparativas con el otro tobillo. El **tratamiento** de los esguinces de grado I será colocar hielo para controlar el edema inicial y administrar analgésicos. Con ello, a la semana el dolor ha desaparecido, y en los casos en que este esguince suceda

sobre un tobillo ya lesionado anteriormente se propone un programa de rehabilitación propioceptiva y potenciación de los músculos peroneos laterales. En esguinces de grado II inicialmente se colocará un vendaje compresivo con elevación de la extremidad, junto con crioterapia y AINE, no dejando apoyar el pie al deportista. Su función es evitar al máximo el hematoma secundario que prolongará la recuperación posterior de este tobillo. Aproximadamente al tercero o cuarto días se coloca una férula posterior dejando el tobillo en un ángulo de 90°, y sin permitir apoyar la extremidad se inicia un trabajo de fisioterapia con el fin de que no se atrofien los músculos del tobillo y del pie y favorecer la reabsorción del hematoma. Esta conducta se seguirá unos 10 días hasta la desaparición de los síntomas locales. Posteriormente colocaremos una ortesis que impida el varo-valgo según el mecanismo lesional y se deja apoyar el pie al paciente. Esta ortesis se mantiene de 15 a 21 días. Con ello el paciente puede iniciar nuevamente la actividad deportiva a las 5 semanas. En los esguinces de grado III, si el bostezo articular es mayor de 15°, algunos autores recomiendan el tratamiento ortopédico; en el paciente deportista recomendamos la intervención quirúrgica colocando posteriormente una ortesis (que también puede ser una botina de yeso) que impida la flexoextensión y el varo-valgo durante 3 semanas, que se cambia posteriormente por una ortesis que limite sólo el varo-valgo, dejando libre la flexo-extensión durante otras 2 semanas.

Esguince crónico e inestabilidad del tobillo

El **esguince crónico** se define como laxitud exagerada capsuloligamentaria tibiotarsiana. La causa más habitual es la laxitud del ligamento lateral externo que conlleva, por un lado, un ligamento más frágil al que le cuesta resistir la sollicitud mecánica varizante y, por otro, una dificultad a su tensión (distendido), lo que retarda la estimulación de los receptores propioceptivos y la respuesta muscular protectora. Puede agravarse si se asocia a una debilidad secundaria de los músculos peroneos, hiperlaxitud constitucional, pie cavo y calcáneo varo. La **clínica** se caracteriza básicamente por inestabilidad con recurrencia de los episodios de esguinces de tobillo durante la realización del ejercicio físico o en la vida cotidiana. El paciente suele sentir que su articulación no responde. Inicialmente no hay dolor, excepto en el momento del esguince, sino sensación de inestabilidad; cuando a ello se suma el dolor, puede estar ante la fase inicial de la artrosis tibioastragalina. Además de un

examen exploratorio, se requiere la radiografía en estrés y especialmente una RM y la artroRM como **pruebas complementarias**. Inicialmente siempre pensaremos en un **tratamiento** conservador mediante un programa de rehabilitación dirigido sobre la propioceptividad ya descrito por Freedman y popularizado por Castaing. Si se produce el fracaso tras un tratamiento rehabilitador no inferior a los 3 meses, se pensará en el tratamiento quirúrgico.

Conflicto tibioastragalino posterior

El **conflicto tibioastragalino posterior** es el resultado del contacto repetitivo del borde posterior del pilón tibial, durante la flexión plantar forzada, con el tubérculo posteroexterno del astrágalo no fusionado que se denomina *os trigonum*. La sucesión de microtraumatismos producirá una rotura de la cola del astrágalo y la aparición de dolores que limitarán la práctica deportiva, y en algunos casos se acompañará de una tenosinovitis del flexor largo del dedo gordo. La **clínica** se caracteriza por dolor vivo de localización posterior en el tobillo que se desencadena con la palpación o con la flexión plantar forzada o por la flexión contrarresistida del dedo gordo. También la percusión del talón produce dolor. Como **prueba complementaria** se requiere una radiografía simple y la gammagrafía ósea. El **tratamiento** implica reposo del deporte, y en ocasiones basta con un vendaje funcional que limite la flexión plantar del pie y AINE. Si con ello no es suficiente, se indicará una infiltración dirigida en la zona, que con un número máximo de tres suele dar según nuestra experiencia buenos resultados. En los casos de fracaso se procederá a la resección quirúrgica de la prominencia ósea.

Conflicto tibioastragalino anterior

El **conflicto tibioastragalino anterior** es una lesión frecuente en el mundo del deporte como resultado de microtraumatismos repetitivos del borde anterior del pilón tibial con el cuello del astrágalo, lo que provoca la aparición de una prominencia ósea (exostosis) en el margen anterior de la tibia y de la cara dorsal del astrágalo. En general, la **clínica** se caracteriza por una limitación de la flexión dorsal del tobillo y dolor en su cara anterior. De las **pruebas complementarias**, la radiología simple mediante una proyección de frente y perfil nos permitirá llegar al diagnóstico. El **tratamiento** implica

reposo, crioterapia y antiinflamatorios por vía oral. Si con ello no se consigue que desaparezca el problema, se recurrirá a la cirugía, inicialmente por vía artroscópica con una limpieza de estos procesos exofíticos.

Hallus rigidus

La aparición de **hallus rigidus** se ve favorecida por un pie plano y valgo, microtraumatismos repetitivos de la articulación metatarsofalángica (al golpear el balón), en el impulso del salto o el esprín, también la utilización de zapatillas muy amplias, las hiperextensiones del primer dedo en los demarrajés o en los impulsos del salto, las osteocondritis y las fracturas intraarticulares. La **clínica** se caracteriza por dolor progresivo que aparece en la extensión del dedo gordo y que poco a poco evoluciona hacia la rigidez de la articulación metatarsofalángica (< de 20° de flexión dorsal). De las **pruebas complementarias** la radiografía simple lo pone de manifiesto. El **tratamiento** implica reposo, AINE y una plantilla que limite la flexión dorsal del dedo y reparta la flexión por los demás dedos.

Fascitis plantar y espolón calcáneo

Son factores favorecedores de la **fascitis plantar y el espolón calcáneo** el pie plano, el pie cavo, la carrera con el pie en pronación forzada y los impulsos repetitivos y bruscos. La **clínica** se caracteriza porque el deportista refiere dolor selectivo sobre un punto determinado del talón que aparece con el apoyo, como si le estuvieran clavando un clavo en el talón, y se exacerba al subir escaleras. La **exploración** muestra un punto de dolor selectivo debajo del tubérculo posterointerno del calcáneo. De las **pruebas complementarias**, la radiografía generalmente es normal, la ecografía mostrará una zona hipoecogénica que se corresponde con el área dolorosa y la RM revelará si existe alguna lesión degenerativa a nivel de la aponeurosis. El **tratamiento** es reposo articular, AINE y masaje transversal profundo; si ello fracasa, se puede intentar infiltración local con un número no superior a tres. Si persisten las molestias, se puede intentar el tratamiento quirúrgico con limpieza de la zona y debilitamiento de la fascia plantar.

Rotura de la fascia plantar

La **rotura de la fascia plantar** puede ser la estación final de una serie de episodios de fascitis plantar o aparecer de manera espontánea, especialmente en deportes en los que el impulso y la recepción repetida son frecuentes. La **clínica** se caracteriza por dolor brutal y brusco durante la ejecución deportiva, sensación de rotura y aparición de una impotencia funcional. Días después del episodio de dolor aparecerá un hematoma plantar. Únicamente la RM sirve como **prueba complementaria** del diagnóstico. En las roturas espontáneas, el **tratamiento** será ortopédico mediante reposo y AINE; si la rotura sobreviene en un paciente con antecedentes de fascitis plantares debemos dejar al paciente en descarga durante 10 días con crioterapia y AINE, tras lo cual se permitirá el apoyo con ayuda de bastones (carga parcial), volviendo a la descarga si aparece dolor. Al mes se iniciará una marcha normalizada y la actividad deportiva a los 45 días. Si aparece dolor, se procederá a una infiltración. En las roturas antiguas, con mala evolución durante más de 3 meses o tras fracaso del tratamiento médico correcto, se procederá al tratamiento quirúrgico mediante resección y desinserción de la aponeurosis plantar.

Síntesis

- ▶ La lesión deportiva puede definirse como daño corporal en una región anatómica causado por un mecanismo directo o indirecto, que cursa de modo agudo o crónico manteniendo al sujeto fuera de su actividad fisicodeportiva durante un período mínimo de 24 h, pudiendo provocar un deterioro de su capacidad funcional y competencia física o el final de su vida deportiva.
- ▶ Las lesiones deportivas son causa común de regresión en el rendimiento deportivo y de la imposibilidad de participar en competiciones importantes.
- ▶ Las lesiones deportivas pueden clasificarse según el tiempo de evolución, los mecanismos y factores que la producen, etiología, localización y estructuras afectadas.
- ▶ Conocer la epidemiología de las lesiones en las distintas modalidades deportivas y los factores causales es básico para establecer una estrategia adecuada de prevención.
- ▶ Debido a que numerosos factores asociados a errores en el proceso de

entrenamiento se consideran desencadenantes de muchas lesiones, se requiere del equipo técnico el planteamiento de un programa de entrenamiento racional e individualizado para cada deportista. Especial cuidado hay que tener con los deportistas que ya han sufrido lesiones previamente, pues presentan riesgo elevado de recurrencia.

- El mayor porcentaje de lesiones se observa en las competencias y al comienzo de cada temporada, por lo que se requiere controlar las cargas competitivas, la reversibilidad de las adaptaciones durante el período de transición y la progresión del entrenamiento en las primeras semanas de la temporada.
- Los estudios genéticos pueden aportar información sobre los sujetos con mayor riesgo de incidencia lesional.
- Aunque el equipo médico especialista debe coordinar el diagnóstico de las lesiones deportivas y su tratamiento hasta el alta médica, es necesario que todos los integrantes del equipo multidisciplinario de trabajo dispongan de los conocimientos básicos que sobre las lesiones se han expuesto en este apartado debido al carácter multidisciplinario de los factores causales de las lesiones y de los factores que determinan el tiempo hasta la recuperación completa de la lesión.

Cuestionario de asimilación

1. Define cuándo se considera que un deportista está lesionado.
2. Enumera los factores de riesgo de una lesión deportiva.
3. Indica si consideras que algunas lesiones deportivas pueden estar influidas por factores genéticos.
4. Diferencia una lesión aguda de una lesión por uso excesivo.
5. Identifica los momentos de la preparación de un deportista en los que existe un mayor riesgo de lesión.
6. Indica cuál es la lesión deportiva más frecuente.
7. Señala el principal factor que se debe considerar en una lesión muscular.
8. Indica qué tipo de actividad se asocia a dolor muscular de inicio retardado.

- 9.** Describe las principales características de una rotura total muscular.
- 10.** Indica cuál es la principal prueba complementaria de diagnóstico de una lesión muscular y su tratamiento habitual.
- 11.** Establece las diferencias entre una tendinosis y una tenosinovitis.
- 12.** Indica la localización de las lesiones de tendón más frecuentes.
- 13.** Describe las principales características de una periostitis.
- 14.** Indica las principales diferencias entre una lesión de menisco y una rotura del ligamento cruzado anterior.
- 15.** Señala las características que definen los distintos grados de un esguince de tobillo.

Modelos y estrategias para la prevención de lesiones*

Marc Roig Pull

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Conocer algunos modelos de prevención de las lesiones deportivas.
- Comprender la importancia que para la prevención de las lesiones deportivas puede tener un adecuado proceso de entrenamiento.
- Disponer de la evidencia científica actual de las estrategias más utilizadas para la prevención de las lesiones deportivas.

Índice

- 2.1. Modelos de prevención de las lesiones deportivas
- 2.2. Estrategias para la prevención de las lesiones deportivas
 - Estiramientos
 - Calentamiento
 - Entrenamiento propioceptivo
 - Entrenamiento de estabilidad del tronco y la pelvis
 - Entrenamiento excéntrico
 - Vendajes funcionales y ayudas ortopédicas
 - Otras estrategias de prevención
- Síntesis
- Cuestionario de asimilación

* El autor agradece a las siguientes instituciones el apoyo económico durante la producción de este trabajo: Canadian Institute of Health Research (CIHR), British Columbia Lung Foundation y University of British Columbia (UBC).

El interés por el estudio de la **prevención de lesiones en el deporte** ha crecido ostensiblemente en los últimos años. Una rápida búsqueda en Pubmed incluyendo los términos “prevención”, “deporte” y “lesión” refleja que el número de publicaciones indexadas en esta base de datos ha aumentado significativamente de 3.178 en 1980 a 24.844 en 2008 (figura 9.2). Otro claro ejemplo del interés por la prevención de lesiones deportivas es la progresiva profesionalización de los equipos médicos de los clubes deportivos y la aplicación de técnicas y programas especializados para reducir la incidencia de las lesiones. Debido a la alta incidencia de este tipo de lesiones y a los elevados costes asociados a su tratamiento (Conn *et al.*, 2003), el estudio de las diferentes estrategias de prevención deportiva está plenamente justificado no sólo a nivel clínico, sino también a nivel económico.

A pesar de los evidentes avances producidos en el campo de la prevención, la mayoría de las estrategias implementadas para reducir la incidencia de las lesiones deportivas siguen estando basadas muchas veces en la experiencia, la observación y el sentido común. Ejemplos paradigmáticos de estas prácticas son el calentamiento y los estiramientos. A pesar de la falta de estudios que demuestren su efectividad para reducir la incidencia de lesiones musculotendinosas (Woods *et al.*, 2007; Fradkin *et al.*, 2006; Thacker *et al.*, 2004), estas técnicas siguen siendo el denominador común de cualquier programa de prevención de lesiones deportivas (Shehab *et al.*, 2006). Sin desestimar los posibles efectos positivos que el calentamiento o los estiramientos puedan tener en la disminución de las lesiones (Woods *et al.*, 2007), los métodos para reducir el riesgo de lesión se deben basar en la evidencia científica. Desafortunadamente, el número de estudios científicos de calidad que investiguen la eficacia de las distintas estrategias de prevención de lesiones en el deporte es muy reducido.

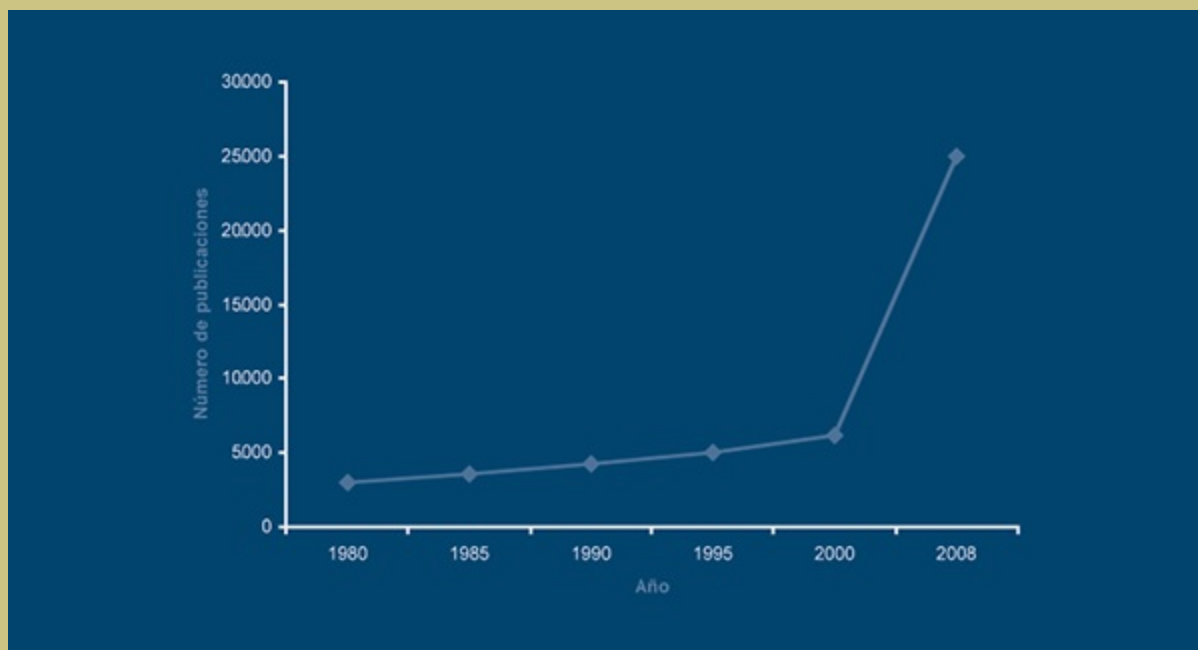


FIGURA 9.2. Número de publicaciones relacionadas con la prevención de lesiones deportivas indexadas en la base de datos Pubmed desde 1980 hasta 2008. El interés por la prevención de lesiones es relativamente reciente, observándose desde el año 2000 un incremento significativo del número de estudios.

Original del autor.

Diferentes factores explican la escasez de estudios clínicos aleatorizados controlados que validen el uso de las distintas estrategias para la prevención de lesiones (Shephard, 2005). En primer lugar, no es fácil diseñar estudios controlados en el campo de la prevención. Por ejemplo, no sería éticamente aceptable no tratar a un grupo de control sabiendo que la ausencia de tratamiento puede incrementar el riesgo de lesión. En segundo lugar, la mayoría de estudios realizados carecen de adecuadas medidas de valoración de la incidencia de las lesiones deportivas. Por ejemplo, en numerosos estudios epidemiológicos el número de lesiones se contabiliza sin tener en cuenta si éstas se producen en un mismo deportista, de qué tipo son (p. ej., musculares, articulares, tendinosas) y la diferente gravedad de las mismas (Brooks y Fuller, 2006). Esto es especialmente importante porque, como veremos más adelante en este apartado, algunas estrategias de prevención son más eficaces dependiendo del tipo de lesión y en ciertas modalidades deportivas. En tercer lugar, existen claras inconsistencias en los diseños de los estudios destinados a investigar la incidencia y los factores de riesgo de

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

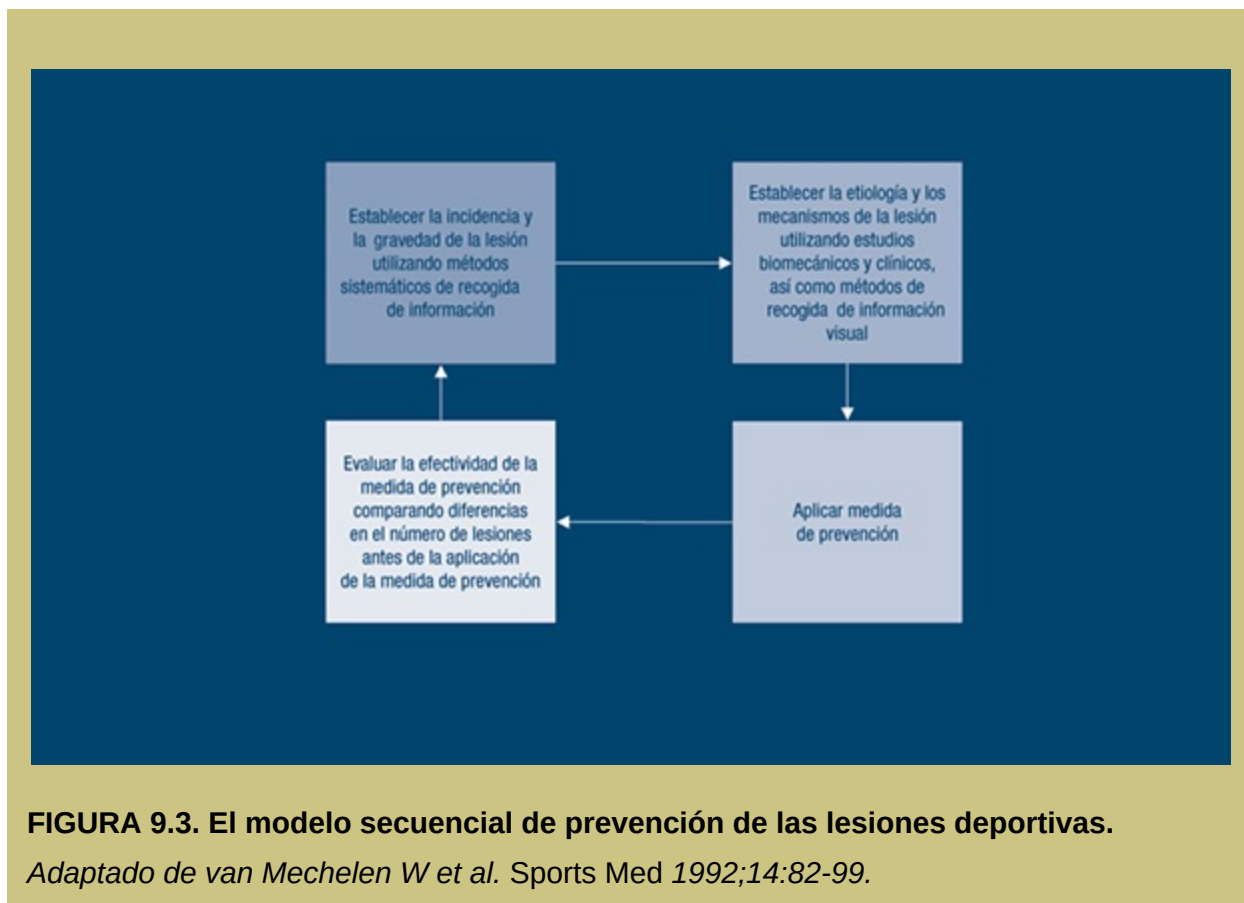
las lesiones. Por ejemplo, distintos estudios utilizan diferentes definiciones de lo que constituye una lesión, haciendo que la comparación entre estudios y disciplinas deportivas sea difícil. Errores en la valoración de datos epidemiológicos pueden reducirse con la aplicación de métodos sistemáticos de recogida de información (Finch, 1997) y modelos conceptuales diseñados para la prevención de lesiones (van Mechelen *et al.*, 1992). Por último, la etiología de las lesiones deportivas suele ser múltiple, con un número elevado de factores externos, internos y situacionales que coinciden simultáneamente en el momento en que la lesión se produce (Bahr y Krosshaug, 2005; Meewisse, 1991). Esto dificulta el diseño de estudios que controlen todos los posibles factores de riesgo y que establezcan una causalidad clara entre un factor desencadenante y la ocurrencia de la lesión.

A pesar de todas estas limitaciones, recientes revisiones sistemáticas de la literatura que incluyen exclusivamente estudios aleatorizados controlados han demostrado que con el uso de estrategias adecuadas de prevención el riesgo de lesión en el deporte puede reducirse de forma significativa (Aaltonen *et al.*, 2007; Parkkari *et al.*, 2001). No obstante, la evidencia científica que respalda el uso de las principales estrategias de prevención no ha sido analizada en profundidad. Este apartado tiene como primer objetivo mostrar algunos de los principales modelos usados en la prevención de las lesiones deportivas. La adopción de un modelo conceptual es importante para la prevención sistemática de las lesiones deportivas. El segundo objetivo, que tiene un enfoque eminentemente práctico, consiste en revisar algunas de las estrategias más comúnmente utilizadas en la prevención de las lesiones deportivas y evaluar su evidencia científica. Las diferentes modalidades de prevención serán evaluadas a partir del número y la calidad de los estudios realizados. Al finalizar este apartado, el lector debería reconocer algunos de los modelos de prevención de las lesiones deportivas y conocer la eficacia de las principales estrategias de prevención basándose exclusivamente en la evidencia científica.

2.1. Modelos de prevención de las lesiones deportivas

El primer paso para la prevención de las lesiones es la creación de un modelo conceptual que sirva para identificar los diferentes factores que intervienen en

la lesión de un deportista. Se han propuesto varios **modelos de prevención de lesiones**, pero posiblemente uno de los más extendidos sea el modelo de van Mechelen *et al.*, (1992). Este modelo secuencial de prevención se estructura a partir de cuatro fases: (i) identificación del alcance de las lesiones; (ii) identificación del mecanismo causal de la lesión; (iii) introducción de las medidas de prevención, y (iv) evaluación de la efectividad del programa de prevención (figura 9.3). A pesar de ser ampliamente utilizado como modelo base de evaluación de las estrategias de prevención de las lesiones deportivas tanto a nivel práctico como en investigación, este modelo no permite evaluar la aplicabilidad de las distintas medidas preventivas en situaciones reales. En un intento por enlazar investigación y praxis, se ha propuesto recientemente un modelo que traslada los avances en el campo de la investigación a la prevención de las lesiones deportivas (Finch, 2006). Este modelo, basado en el modelo de van Mechelen *et al.*, (1992), está básicamente centrado en la investigación e incorpora aspectos como la evaluación de las medidas de prevención en el contexto deportivo para evaluar su aplicabilidad. Recientemente se ha propuesto otro modelo que incorpora aspectos relacionados con la actitud del deportista ante el riesgo de lesión. Van Tiggelen *et al.*, (2008) proponen una expansión del modelo original de van Mechelen que se basa en la incorporación de tres nuevas fases respecto al modelo original. Estas tres fases comprenden determinar la eficacia y la eficiencia de la medida preventiva, y sobre todo la evaluación de las actitudes del deportista en la prevención de las lesiones. En otras palabras, el modelo de Van Tiggelen propone situar al deportista como parte central activa del proceso de prevención. Esto es importante porque refuerza la participación activa del deportista en la prevención y demuestra que aspectos como la educación del deportista respecto al riesgo de lesión pueden ser importantes para reducir dicho riesgo.



Independientemente del modelo que se escoja, la adaptación de cualquier modelo general a la modalidad deportiva puede organizarse en diferentes etapas que responden a las preguntas qué, cómo, por qué y cuándo un deportista se lesiona. Para conocer qué se lesiona el deportista, el primer paso es establecer la **prevalencia e incidencia de las lesiones** más comunes de la disciplina en cuestión. Es imposible evitar todas las lesiones, pero es posible reducir su incidencia si identificamos las lesiones más comunes y aplicamos medidas de prevención específicas. Por ejemplo, un estudio epidemiológico de las lesiones deportivas permite reconocer cuáles son las lesiones más comunes y establecer prioridades de prevención. Existen excelentes ejemplos en la literatura sobre cómo realizar estudios epidemiológicos para determinar la prevalencia de las lesiones en diferentes modalidades deportivas (véase el suplemento número 2 de Journal of Athletic Training de 2007). Sería absurdo destinar tiempo y esfuerzo en la prevención de las lesiones de la articulación trapezometacarpiana en una modalidad deportiva en la cual el 95% de las lesiones ocurrieran en el miembro inferior. Es importante resaltar que el hecho de identificar la prevalencia de ciertas lesiones no implica, sin embargo, *****ebook converter DEMO Watermarks*****

que utilicemos exclusivamente técnicas de prevención localizadas (p. ej., una lesión lumbar puede tener su origen en una disfunción escapular). Una vez sabemos cuáles son las zonas más susceptibles de sufrir una lesión, el segundo paso es conocer los **mecanismos etiológicos de la lesión**, es decir, cómo se lesiona un deportista. Para establecer programas de prevención eficaces, el estudio del mecanismo de la lesión es fundamental. El modelo de producción de lesiones propuesto por Bahr y Krosshaug (2005) organiza los diferentes factores de riesgo de las lesiones en internos, externos y situacionales. Factores de riesgo internos son los relacionados intrínsecamente con el deportista: capacidad física, nivel de destreza, composición corporal, historia clínica, edad y sexo. Factores de riesgo externos son los que relacionan al deportista y la práctica deportiva: equipamiento, entorno y los oponentes. Factores situacionales son los que intervienen en el momento en que la lesión se produce: situación de juego específica, mecanismo de la lesión. A pesar de que este modelo puede parecer inespecífico, es adaptable a cada modalidad deportiva y, por tanto, puede ser un buen modelo de trabajo.

También es importante evaluar **cuándo se lesiona el deportista**, no sólo en un evento deportivo específico, sino también a lo largo de una temporada. Por ejemplo, estudios epidemiológicos han demostrado que las lesiones musculares en fútbol tienden a aparecer en la parte final del encuentro (Woods *et al.*, 2004). Esta información puede ser indicativa, por ejemplo, de la posible implicación de la fatiga física en los mecanismos de lesión muscular. El penúltimo paso es la **aplicación del programa de prevención**. Este programa no debe estar exclusivamente focalizado en la preparación física del deportista, sino que debe considerar todos los factores de riesgo y situacionales presentados en el modelo anterior (Bahr y Krosshaug, 2005). El último paso responde a la pregunta de **por qué se lesiona un deportista** y está basado en la evaluación del programa de prevención posteriormente aplicado. Esta parte es crítica para evaluar la efectividad del programa de prevención y aplicar los cambios necesarios.

2.2. Estrategias para la prevención de las lesiones deportivas

Estiramientos

Los **estiramientos** son ejercicios que tienen como principal objetivo la mejora de la movilidad articular (Alter, 2004). En situaciones normales en las que no existe ninguna patología articular, la capacidad para mover una articulación con cierta amplitud (flexibilidad) depende básicamente de la viscoelasticidad de los músculos, tendones, ligamentos y otro tipo de tejido conectivo (p. ej., fascias). El uso de técnicas de estiramientos para la prevención de lesiones en el deporte goza de gran popularidad entre deportistas y entrenadores (Shehab *et al.*, 2006). Las diferentes técnicas de estiramiento podrían clasificarse en tres grandes grupos: estáticos, dinámicos y de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). Los estiramientos estáticos consisten básicamente en lograr la extensión muscular llevando progresiva y lentamente la articulación cerca de su límite de movimiento. Este tipo de estiramiento se utiliza normalmente como medida de recuperación (después de un evento deportivo), como medida de prevención (previamente al evento deportivo), o como método específico para mejorar la flexibilidad. Los estiramientos dinámicos, en cambio, suelen realizarse antes del movimiento de competición para activar los reflejos neuromusculares y acondicionar el complejo musculotendinoso al esfuerzo posterior. Un ejemplo paradigmático de los estiramientos activos lo constituyen los estiramientos balísticos que utilizan algunos velocistas antes de empezar la competición y que realizan con rápidos movimientos repetidos de rebote buscando el límite de la amplitud del movimiento. Las técnicas de FNP se utilizan tanto en el campo deportivo como en la rehabilitación para mejorar o restablecer la amplitud del movimiento de una articulación. Este conjunto de técnicas utiliza las diferentes respuestas neurológicas de inhibición de los receptores musculotendinosos (p. ej., husos neuromusculares y receptores tendinosos de Golgi) para facilitar el estiramiento muscular. En este caso, el aumento de flexibilidad se consigue alternando fases de contracción isométrica (tanto de músculos agonistas como antagonistas), relajación y estiramiento estático (Alter, 2004). A pesar de que existe cierta evidencia de que las técnicas de FNP son las más eficaces para aumentar la amplitud del movimiento, los resultados obtenidos hasta la fecha son contradictorios (Thacker *et al.*, 2004).

Las teorías que defienden el papel protector de los estiramientos se fundamentan en la demostrada capacidad de estos métodos para mejorar la

extensibilidad musculotendinosa (Woods *et al.*, 2007). No obstante, existe actualmente un interesante debate respecto a los mecanismos que provocan el aumento de la extensibilidad o rigidez del sistema musculotendinoso y cómo estas adaptaciones pueden proteger el músculo de posibles lesiones. Según Witvrouw *et al.*, (2004) un aumento de la extensibilidad debería, teóricamente, aumentar la capacidad del sistema musculotendinoso para absorber la energía elástica asociada al estiramiento muscular y evitar su deformación o rotura. Este punto de vista es consistente con estudios que demuestran que los deportistas menos flexibles son más susceptibles de sufrir daño muscular provocado por contracciones excéntricas (McHugh *et al.*, 1999). Witvrouw *et al.*, (2004) sugieren que los estiramientos como medida de prevención son únicamente relevantes en las disciplinas deportivas que utilizan esfuerzos de tipo pliométrico (p. ej., movimientos que alternan contracciones musculares excéntricas de estiramiento muscular sucedidas de rápidas contracciones de tipo concéntrico). Otros autores (LaStayo *et al.*, 2003; Lindstedt *et al.*, 2001) sugieren en cambio que es el aumento de la **rigidez musculotendinosa** lo que podría tener un efecto protector por una mayor absorción de fuerza elástica durante el estiramiento. Sin tener en cuenta aspectos relativos a la arquitectura muscular (p. ej., número de sarcómeros seriadas o disposición de las fibras musculares), la capacidad para absorber la fuerza desarrollada durante un estiramiento a nivel musculotendinoso dependerá en gran medida de la amplitud del estiramiento y el grado de tensión generada durante éste. Un músculo muy extensible podrá sin duda absorber estiramientos de gran amplitud pero que generen poca tensión intramuscular. En cambio, un músculo muy rígido podrá absorber estiramientos muy potentes pero de una amplitud más reducida. El programa de estiramientos debería tener en cuenta estos dos parámetros y establecer un nivel idóneo de extensibilidad dependiendo de las características individuales del deportista y la modalidad deportiva (Witvrouw *et al.*, 2004). Además, dado que un exceso de extensibilidad puede en algunos casos tener efectos contraproducentes en el rendimiento deportivo (Fowles *et al.*, 2000), especialmente en las modalidades que requieren contracciones musculares potentes, es necesaria la individualización del programa de estiramientos.

La **evidencia científica** que respalda la efectividad de los estiramientos para la prevención de lesiones musculotendinosas es cuanto menos discutible. No existen suficientes estudios de alta calidad, y los pocos estudios existentes

contienen limitaciones metodológicas importantes (Thacker *et al.*, 2004). En una reciente revisión sistemática de la literatura que incluyen 361 estudios, Thacker *et al.*, (2004) observaron que los programas de estiramientos no guardan ninguna relación significativa con la disminución de las lesiones. Estos resultados son similares a otros metaanálisis realizados previamente (Herbert y Gabriel, 2002; Shrier, 2000). No obstante otros autores opinan que el beneficio de un programa de estiramientos compensa en gran medida los posibles riesgos y que la falta de evidencia es resultado directo de las limitaciones metodológicas de los estudios realizados (p. ej., inadecuada clasificación de los diferentes tipos de lesiones) (Woods *et al.*, 2007) o la falta de adecuación de los diferentes tipos de programas de estiramientos dependiendo de las necesidades específicas de cada modalidad deportiva (Witvrouw *et al.*, 2004). En suma, no hay estudios suficientes para aconsejar, desde la evidencia científica, la continuación o eliminación de los programas de estiramientos para prevenir las lesiones deportivas.

Calentamiento

Como se ha indicado en este manual, el **calentamiento** es la fase previa a la actividad deportiva compuesta por un grupo de ejercicios que tienen como objetivo preparar al deportista para la competición o el entrenamiento. Existen diferentes tipos de calentamiento dependiendo de su especificidad y modalidad (Woods *et al.*, 2007). Por ejemplo, un calentamiento puede ser general o específico dependiendo del grado de similitud de los ejercicios respecto al movimiento o la situación real de competición. Además, el calentamiento puede ser pasivo o activo dependiendo del grado de participación voluntaria del deportista. Según Safran *et al.*, (1989) el calentamiento debería incorporar en este orden: (i) ejercicios aeróbicos para incrementar la temperatura corporal; (ii) estiramientos específicos de los grupos musculares que intervienen en el movimiento deportivo, y (iii) ejercicios específicos que imiten el gesto deportivo. La intensidad del calentamiento debe ajustarse a factores como el tipo de actividad posterior o la preparación del deportista. Normalmente se establece una intensidad suficiente (<60% VO_2 máx.) para aumentar la temperatura muscular sin generar fatiga o un vaciamiento significativo de los sustratos energéticos musculares (p. ej., glucógeno) (Woods *et al.*, 2007). Aunque el principal objetivo del calentamiento es incrementar la temperatura corporal y así

mejorar el acondicionamiento muscular entre los períodos de inactividad y actividad, las adaptaciones fisiológicas producidas durante esta fase de la preparación incluyen otros aspectos que también pueden mejorar el rendimiento deportivo y reducir teóricamente el riesgo de lesión, incluyendo aspectos psicológicos.

La mayoría de las teorías a favor del uso del calentamiento como medida de prevención se fundamentan sobre todo en los efectos fisiológicos que el aumento de temperatura ejerce sobre el comportamiento musculotendinoso tanto a nivel biomecánico como neuromuscular. A pesar de que el **aumento de temperatura intramuscular** no provoca un aumento significativo de la capacidad de absorción de fuerza muscular desarrollada en un estiramiento (Magnusson *et al.*, 2000), sí modifica el comportamiento viscoelástico de músculos y tendones aumentando la extensibilidad de los tejidos y la elongación necesaria para provocar una posible rotura (Strickler *et al.*, 1990; Safran *et al.*, 1988). Aparte de estos aspectos biomecánicos, el aumento de temperatura mejora otros aspectos neuromusculares como la velocidad de la conducción nerviosa y la respuesta motriz (tiempo de reacción), facilitando acciones coordinadas de músculos agonistas y antagonistas. Estos aspectos podrían mejorar la coordinación intermuscular y ser beneficiosos en la prevención de lesiones musculotendinosas durante movimientos rápidos o explosivos que requieren la acción coordinada de distintos grupos musculares (Thelen *et al.*, 2006).

Diversos estudios han tratado de establecer la **evidencia científica** del posible efecto protector del calentamiento sobre las lesiones deportivas. Por ejemplo, Walter *et al.*, (1989) estudiaron durante 12 meses a 1.680 corredores de media y larga distancia y observaron que únicamente la distancia recorrida y la existencia previa de una lesión incrementaban significativamente el riesgo de lesión. Resultados similares se han obtenido en una revisión sistemática de la literatura (van Gent *et al.*, 2007). Curiosamente, los corredores que solían utilizar calentamiento mostraron una mayor tendencia a lesionarse, a pesar de no ser ésta estadísticamente significativa ($p > 0,05$). En un estudio aleatorizado controlado, van Mechelen *et al.*, (2002) analizaron la eficacia de un programa de calentamiento, estiramientos y recuperación en la prevención de lesiones en un grupo de corredores no profesionales. Después de 16 semanas, el número de lesiones entre el grupo de control y el grupo que siguió el programa de prevención fue similar (26 y 23 respectivamente). Es posible, sin embargo, que 16 semanas sea un período de tiempo demasiado

corto para apreciar diferencias significativas entre los 2 grupos. En una revisión sistemática de la literatura que comprende cinco estudios controlados aleatorizados (Fradkin *et al.*, 2006), sólo tres de éstos mostraron resultados a favor del uso del calentamiento para la prevención de las lesiones deportivas. No todos los estudios han dado resultados negativos respecto al efecto preventivo del calentamiento. Por ejemplo, Bixler y Jones (1992) observaron que un programa basado en calentamiento y estiramientos realizados en la media parte de encuentros de fútbol americano reducía significativamente ($p < 0,05$) la incidencia de lesiones musculotendinosas. Desafortunadamente, limitaciones del diseño de estos estudios no permiten obtener conclusiones definitivas respecto a la eficacia del calentamiento en la prevención de lesiones. Por ejemplo, la mayoría de estas investigaciones utilizan estrategias combinadas de prevención que comprenden estiramientos, calentamiento y recuperación, que hacen difícil establecer una posible correlación entre un método específico de prevención y la disminución del riesgo de lesión. A pesar de estos resultados, no existe, por otro lado, ningún estudio que indique que un calentamiento correctamente realizado pueda aumentar el riesgo de lesión y, por tanto, no hay razón alguna para desaconsejar su uso.

Entrenamiento propioceptivo

El sistema somatosensitivo se encarga de captar información detallada de la posición de los diferentes segmentos corporales en relación con ellos mismos y la orientación de todo el cuerpo en relación con la base de sustentación. Este sistema aferente recoge información de los diferentes mecanorreceptores situados tanto a nivel cutáneo (exterocepción) como en los músculos, tendones y articulaciones (propiocepción). La **propiocepción** es la capacidad especializada de percibir las distintas variaciones de posición y de tensión que acompañan al movimiento articular tanto en condiciones dinámicas como estáticas. Deficiencias del sistema propioceptivo pueden resultar en una inadecuada estabilidad articular y en un déficit del control motor, por lo que pueden teóricamente aumentar el riesgo de lesión (Griffin, 2003).

El entrenamiento propioceptivo se ha usado tradicionalmente en programas de rehabilitación y más recientemente en estrategias de prevención. Diferentes estudios han demostrado que después de una lesión la función propioceptiva del sistema neuromuscular puede estar alterada. Por ejemplo, Freeman (1965) observó que la recuperación de la estabilidad articular

después de una lesión de los ligamentos de la articulación tibioperoneoastragalina no era completa, aunque la estructura dañada (ligamentos laterales del tobillo) había recobrado aparentemente su normalidad. A la luz de estos resultados Freeman dedujo que, a pesar de la recuperación total de los tejidos, la lesión había provocado una alteración del sistema aferente propioceptivo y que esto a su vez incrementaba la inestabilidad articular. Un gran número de estudios han validado ahora esta hipótesis, y actualmente la mayoría de los programas de rehabilitación y prevención incluyen también ejercicios propioceptivos destinados a mejorar la **estabilidad articular** a través de un aumento de la percepción de la posición y el movimiento articular, así como de la mejora del **control y la respuesta neuromuscular**.

Algunos estudios han intentado analizar la **evidencia científica** respecto al papel que el entrenamiento propioceptivo puede tener en la prevención de las lesiones deportivas. Aunque los fundamentos teóricos respecto al uso del entrenamiento propioceptivo para la mejora de la estabilidad articular son sólidos y están respaldados con investigaciones científicas de calidad (Riemann y Lephart, 2002a; Riemann y Lephart, 2002b), no todos los estudios clínicos que analizan el efecto protector del entrenamiento propioceptivo en la prevención de las lesiones han dado resultados positivos. Por ejemplo, Söderman *et al.*, (2000) no observaron ningún beneficio significativo en la aplicación de un programa de ejercicios propioceptivos de 7 meses para reducir la incidencia de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla en 221 jugadoras de fútbol. A pesar de estos resultados, existe un gran número de estudios que sugieren que la inclusión de este tipo de intervención para la prevención de lesiones puede tener resultados positivos. Por ejemplo, Wedderkopp *et al.*, (1999) analizaron la efectividad de un programa propioceptivo para evitar lesiones en 111 jugadoras de balonmano. A pesar de que la diferencia no fue estadísticamente significativa, el grupo de jugadoras que realizó el entrenamiento propioceptivo tuvo un número menor de lesiones de rodilla en comparación con el grupo de control (2 vs. 8). Otro estudio similar analizó la efectividad de un programa de entrenamiento propioceptivo para evitar lesiones del LCA en 600 jugadores de fútbol (Caraffa *et al.*, 1996). Los resultados de este estudio desvelaron que la incidencia de lesiones en el grupo que siguió el programa de entrenamiento propioceptivo fue significativamente menor que en el grupo de control (0,15 vs. 1,15). Estos resultados han sido confirmados por otros estudios clínicos

(Mandelbaum *et al.*, 2005) y posteriores metaanálisis de la literatura, incluidos varios estudios (Thacker *et al.*, 2003; Verhagen *et al.*, 2000). La mayor limitación a la hora de determinar la evidencia respecto al uso de ejercicios propioceptivos para la prevención de lesiones se refiere a la metodología usada en los diferentes estudios analizados. En la mayoría de las investigaciones se aplicaron programas de prevención que incluían, aparte del entrenamiento propioceptivo, otros tipos de estrategias (p. ej., ejercicios pliométricos y de agilidad) que posiblemente tenían un efecto aditivo respecto al nivel de protección (Hrysomallis, 2007). Esto hace difícil determinar exactamente la efectividad del entrenamiento propioceptivo en la prevención de las lesiones. En cualquier caso, estrategias combinadas que incluyen ejercicios de propiocepción, agilidad, control postural y educación para la prevención han demostrado ser eficaces para la reducción de lesiones deportivas y deben ser incluidas en la preparación del deportista (Griffin, 2003).

Entrenamiento de estabilidad del tronco y la pelvis

La **estabilidad del tronco** es importante para controlar la posición y el movimiento de la parte superior del cuerpo en relación con la pelvis y para una óptima producción, transferencia y control de la fuerza hacia las extremidades en los movimientos complejos (Kibler, 2006). Panjabi (2003) fue el primero en identificar los diferentes elementos que intervienen en el control de la estabilidad del tronco: elementos pasivos (columna vertebral), elementos activos (músculos espinosos) y elementos neuromusculares (control neuromuscular). Hoy en día, no obstante, sabemos que los músculos de la pelvis son también parte activa de la estabilidad de los diferentes segmentos corporales y que diversos aspectos neurofisiológicos pueden alterar la capacidad para controlar el movimiento del tronco (Gilchrist *et al.*, 2003; Ebenbichler *et al.*, 2001) (figura 9.4).

En los últimos años, la utilización de ejercicios de estabilización del tronco y de la pelvis (*core stability training*) ha ido creciendo tanto en programas de rehabilitación como de prevención deportiva (Kibler, 2006). Las teorías a favor del uso de este tipo de entrenamiento se basan en estudios que han identificado **diferencias biomecánicas** en estrategias de estabilización del tronco y coordinación muscular en pacientes con lesiones de la columna vertebral respecto a un grupo de control (van Dieën y Cholewicki, 2003;

Hubley-Kozey y Vezina, 2002a; Sapsford *et al.*, 2001; Juker y McGill, 1998). Estos estudios indican, por ejemplo, que los pacientes con lumbalgia muestran alteraciones de activación en los músculos del tronco y un déficit observable en ejercicios de control postural. En línea con estos estudios, otros han observado alteraciones de la estabilidad corporal en pacientes con lesiones de la extremidad inferior (Leetun e Ireland, 2004). Estas alteraciones son disfunciones temporales de la activación muscular (Ebenbichler *et al.*, 2001), alteración de la coordinación intermuscular (Hubley-Kozey y Vezina, 2002b) y un déficit propioceptivo debido a la fatiga muscular (Taimela *et al.*, 1999). Estos estudios sugieren en definitiva que la estabilidad del tronco desempeña un papel importante en la **transmisión de fuerzas a los segmentos distales**. Por tanto, es lógico pensar que un entrenamiento específico de los músculos que confieren estabilidad al tronco y la pelvis pueda reducir el número de lesiones en las extremidades (McGill, 2001).



A pesar de su creciente popularidad, la **evidencia científica** de la efectividad de los ejercicios de estabilidad de tronco y pelvis en la prevención de las lesiones está aún por demostrar con estudios clínicos de calidad. Este tipo de entrenamiento se ha aplicado con éxito en casos sintomáticos de inestabilidad vertebral (espondilólisis y espondilolistesis) (O'Sullivan *et al.*, 1997), así como en casos de dolor lumbar inespecífico (Saal, 1990). No obstante, sólo un reducido número de estudios controlados aleatorizados ha investigado la efectividad de este tipo de intervención en la prevención de las

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

lesiones deportivas. Por ejemplo, Sherry y Best (2004) compararon la efectividad de un tratamiento convencional (p. ej., hielo, estiramientos, entrenamiento de fuerza) con la de un protocolo de estabilización lumbar en la reincidencia de lesiones de isquiotibiales. Comparado con el grupo que siguió un entrenamiento estándar, el grupo que realizó el programa de estabilización lumbar mostró después de un año un menor número de lesiones ($p = 0,0059$). En otro estudio se estudió a 433 bomberos para establecer posibles correlaciones entre la flexibilidad y la fuerza de los músculos del tronco y el riesgo de lesión. Los resultados de este estudio mostraron que el grupo que entrenó la estabilidad del tronco redujo el número de lesiones un 42% en comparación con el grupo de control (Peate *et al.*, 2007). En otro estudio que analizó la efectividad de los ejercicios de estabilización lumbar en la recuperación de lesiones musculares de la columna lumbar, el grupo que siguió el programa de estabilización del tronco mostró una mejor recuperación de los músculos espinosos (multífidos) después de 10 semanas de tratamiento (Hides *et al.*, 1996). En este caso, no obstante, no se analizó la reincidencia de las lesiones. En una revisión sistemática de la literatura que va a ser publicada próximamente analizamos el nivel de evidencia científica del entrenamiento de estabilidad de tronco y pelvis para la prevención de lesiones. A pesar de los resultados favorables de la mayoría de los estudios incluidos, la conclusión de esta revisión es que la evidencia respecto a la efectividad de este tipo de entrenamiento en la prevención de lesiones es limitada. Esto se debe al reducido número de estudios aleatorizados controlados y a algunas limitaciones metodológicas de éstos. Por ejemplo, la mayoría de los estudios tienen un diseño retrospectivo y analizan alteraciones neuromusculares de los músculos del tronco después de que la lesión se haya producido. Por tanto, es imposible saber con este tipo de estudios si la lesión ha producido estas alteraciones o si éstas han sido la causa de la lesión y, por tanto, existían con anterioridad. Otra importante limitación de este tipo de estudios es que hay una gran ambigüedad respecto a lo que constituye un programa de estabilización del tronco y, por tanto, una gran heterogeneidad respecto a este tipo de intervenciones. Por ejemplo, algunos estudios incluyen solamente ejercicios de control postural y otros, en cambio, enfatizan el trabajo de fuerza de los músculos lumbares y abdominales. En cualquier caso, los estudios biomecánicos realizados hasta la fecha sugieren que este tipo de entrenamiento puede mejorar la estabilidad articular en las extremidades y posiblemente reducir el riesgo de lesión.

Entrenamiento excéntrico

La capacidad para generar fuerza muscular desempeña un papel fundamental en el control del movimiento, la estabilidad articular y posiblemente la prevención de lesiones durante la práctica deportiva. La gran mayoría de programas de entrenamiento de cualquier modalidad deportiva incluyen una parte específica de mejora de la fuerza, muscular. En las sesiones de entrenamiento de fuerza los deportistas realizan diferentes movimientos compuestos de diferentes tipos de contracciones musculares (concéntricas, excéntricas e isométricas). El importante papel de las **contracciones excéntricas** en el desarrollo de la fuerza y la masa muscular ha sido recientemente demostrado en una revisión sistemática de la literatura (Roig *et al.*, 2009). En esta revisión, que incluye un metaanálisis de 20 estudios aleatorizados controlados, el entrenamiento de tipo excéntrico resultó más efectivo que el entrenamiento concéntrico para aumentar la fuerza (excéntrica y total) y el perímetro muscular. Las posibles implicaciones del entrenamiento de fuerza que enfatiza las contracciones musculares excéntricas en la rehabilitación y prevención de las lesiones deportivas han sido estudiadas en detalle (Roig y Ranson, 2007).

Los estudios que abogan por el uso de contracciones excéntricas para la prevención de lesiones musculotendinosas se basan en la capacidad de este tipo de contracción para modificar **aspectos estructurales y funcionales de la arquitectura muscular**. Por ejemplo, una de las características más comunes del entrenamiento excéntrico es que, al igual que el estiramiento crónico (Williams y Goldspink, 1978), produce un aumento de la longitud de las fibras musculares a través de un incremento de sarcómeros seriados (Brughelli y Cronin, 2007). Esta adaptación modifica las características contráctiles del músculo que, debido al aumento de longitud de sus fibras, es capaz de generar el valor más alto de fuerza máxima (pico de fuerza) en una mayor amplitud del movimiento articular. Esto tiene teóricamente importantes repercusiones en la prevención de roturas musculares que se producen en su mayoría en las fases de estiramiento muscular y contracción, o sea, durante contracciones excéntricas (Kujala *et al.*, 1997; Garrett, 1990). El hecho de que el aumento seriado de sarcómeros produzca un desplazamiento del pico de fuerza hacia la derecha de la curva de longitud-tensión (L-T) implica una mayor protección del músculo en un mayor intervalo de recorrido articular (Brockett *et al.*, 2004; Proske *et al.*, 2004;

Brockett *et al.*, 2001). Cabe recordar que la parte ascendente de la curva L-T se caracteriza por una mayor estabilidad de las sarcómeras, lo cual debería proteger el músculo de la rotura, mientras que la parte descendente refleja inestabilidades de las sarcómeras y, por tanto, un mayor riesgo teórico de lesión (Morgan y Proske, 2006; Morgan y Proske, 2004) (figura 9.5). Esto explicaría por qué los ejercicios excéntricos de mayor amplitud son los que generan un mayor daño muscular (Proske y Morgan, 2001).

A pesar de las evidentes adaptaciones musculares derivadas del entrenamiento excéntrico y sus posibles repercusiones en cuanto a la protección de las lesiones musculotendinosas (Brughelli y Cronin, 2007), existen pocos estudios clínicos que establezcan **evidencia científica** de la efectividad del entrenamiento excéntrico para reducir el número de este tipo de lesiones. Por ejemplo, Askling *et al.*, (2003) demostraron que la introducción de ejercicios excéntricos de isquiotibiales en la rutina de entrenamiento de futbolistas profesionales disminuía el número de lesiones musculares respecto a un grupo de control. Pese a estos resultados, son necesarios más estudios clínicos para establecer la efectividad del entrenamiento de tipo excéntrico en la prevención de lesiones. Además, dado que las contracciones excéntricas pueden producir alteraciones neuromusculares transitorias (Byrne *et al.*, 2004), deben tenerse en cuenta los posibles inconvenientes derivados de este tipo de entrenamiento (Roig y Ranson, 2007).

Vendajes funcionales y ayudas ortopédicas

Los **vendajes funcionales** (*taping*) y las **ayudas ortopédicas** de tipo deportivo (*bracing*) se utilizan para aumentar la estabilidad articular tanto en procesos de rehabilitación como en la prevención de las lesiones durante el juego. Un ejemplo clásico del uso del vendaje funcional es el de los jugadores de baloncesto que utilizan cinta adhesiva para aumentar la estabilidad de la articulación tibioperoneoastragalina y reducir así el riesgo de esguinces de tobillo. Ejemplos típicos de ayudas ortopédicas de tipo deportivo son las rodilleras, los corsés, las coderas y algunas férulas deportivas. Estudios realizados en cadáveres demuestran el efecto de restricción de la excesiva movilidad articular que tienen este tipo de elementos y las diferentes propiedades de cada tipo de fijación (Shapiro *et al.*, 1994). La mayor ventaja del vendaje funcional es su adaptabilidad a

diferentes tipos de articulación. No obstante, el vendaje funcional es fácilmente deformable con el movimiento articular y pierde con rapidez su función estabilizadora (Rarick *et al.*, 1962). Otro inconveniente del vendaje funcional es que requiere un cierto tiempo para su aplicación y retirada y no lo puede aplicar el propio deportista. Los diferentes tipos de ayudas ortopédicas no requieren tanto tiempo para su aplicación, suelen ser menos deformables y las puede colocar el propio deportista, aunque son menos adaptables a diferentes articulaciones o a las características específicas del atleta (Bahr, 2007).

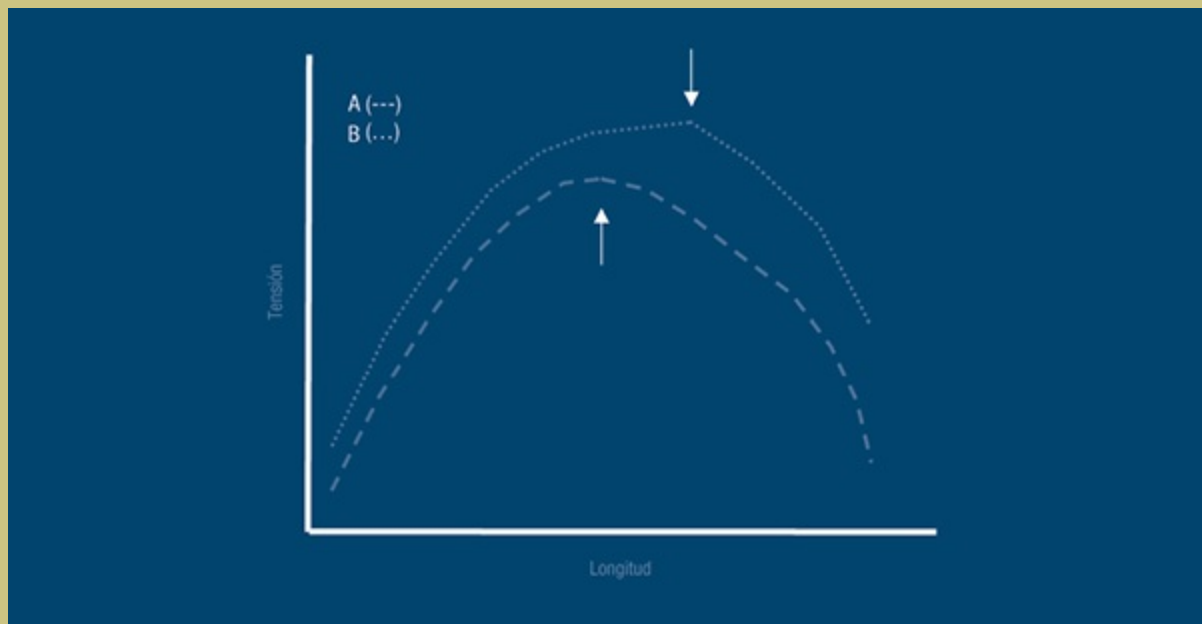


FIGURA 9.5. Gráfico que muestra dos curvas teóricas de longitud-tensión (L-T) en dos músculos con un número diferente de sarcómeros seriados. En la situación B, asociada a los efectos que el entrenamiento excéntrico tiene sobre el incremento de sarcómeros seriados, se observa un desplazamiento del pico de fuerza hacia la derecha en la curva L-T, lo que teóricamente es inherente a una mayor protección del músculo durante una mayor amplitud del movimiento articular.

Original del autor.

La hipótesis respecto al uso de estas técnicas en la prevención de las lesiones deportivas se basa en que un **aumento de la estabilidad articular** puede hacer que disminuya el riesgo de lesión. Por ejemplo, un estudio electromiográfico analizó las respuestas neuromusculares (tiempo de reacción) de los músculos peroneos y la estabilidad funcional de la

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

articulación tibioperoneoastragalina en 20 pacientes con un diagnóstico de inestabilidad lateral crónica de tobillo (Karlsson y Andreasson, 1992). Los resultados de este estudio demuestran que la aplicación del vendaje funcional puede mejorar la respuesta reactiva motriz y la propiocepción, reduciendo el tiempo de reacción, así como restringir la amplitud del movimiento articular mejorando la estabilidad mecánica. Algunos estudios han tratado de establecer la **evidencia científica** de la efectividad de los vendajes funcionales y las ayudas ortopédicas en la prevención de lesiones. Por ejemplo, revisiones sistemáticas de la literatura han analizado la efectividad profiláctica de las ayudas ortopédicas (Aaltonen *et al.*, 2007; Handoll *et al.*, 2001). Los resultados de estos estudios demuestran que este tipo de soportes articulares puede reducir el riesgo de lesión significativamente (>50%), especialmente en los deportistas propensos a este tipo de lesiones. Existe la creencia popular de que el uso de estos elementos de estabilización puede disminuir la sensibilidad propioceptiva de las articulaciones y aumentar a la larga el riesgo de lesión. No hay, sin embargo estudios que validen esta hipótesis.

Otras estrategias de prevención

Existen diferentes aspectos que también pueden reducir el riesgo de lesión, aunque el nivel de evidencia que valide el uso de estas estrategias preventivas es variable. Estos aspectos, que no serán tratados en profundidad en este apartado, son el uso de **material deportivo** adecuado (p. ej., equipamiento protector), el uso de **superficies deportivas** que reduzcan el impacto articular y una **preparación física** adecuada siguiendo los diferentes principios de entrenamiento. Por ejemplo, el uso de cascos adaptados protege a los deportistas en disciplinas como el ciclismo o el hockey sobre hielo. Asimismo, algunas protecciones son vitales en deportes como el fútbol americano donde los impactos son parte habitual del juego. Algunos estudios epidemiológicos han demostrado que el riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior es mayor en superficies de material sintético que en superficies de madera o parquet (Olsen *et al.*, 2003). El tipo de superficie de juego puede tener importancia en la producción de lesiones deportivas y debe tenerse en cuenta en la prevención de lesiones. Otros aspectos que se debe considerar son la recuperación y los aspectos nutricionales o psicológicos. Aunque son pocos los estudios que asocian directamente estos elementos con

el riesgo de lesión, es importante tenerlos en cuenta en la planificación de las diferentes estrategias de prevención (Bahr, 2007).

Síntesis

- Este apartado ha mostrado diferentes modelos conceptuales de prevención de lesiones y ha revisado, basándose en la evidencia, la efectividad de las diferentes estrategias de prevención más usadas en el deporte.
- Existe cierta evidencia de que el entrenamiento propioceptivo, el entrenamiento de estabilidad de tronco y pelvis, y algunos elementos protectores como el vendaje funcional y las ayudas ortopédicas pueden tener un efecto preventivo respecto al riesgo de lesión.
- El calentamiento, los estiramientos, y otras estrategias como el trabajo muscular excéntrico necesitan más estudios que validen su efectividad.
- Es necesario especialmente el estudio de la efectividad de las diferentes modalidades de prevención en diferentes disciplinas deportivas.

Cuestionario de asimilación

1. Indica cuál es el principal factor que hay que considerar para establecer estrategias de prevención de las lesiones en una determinada modalidad deportiva.
2. Establece las diferencias entre los factores de riesgo de lesión internos, externos y situacionales.
3. Explica basándote en la evidencia científica actual si utilizarías o no estiramientos con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.
4. Define el factor por el que se valora el calentamiento como una adecuada estrategia para prevenir las lesiones deportivas.
5. Indica sobre la base de la evidencia científica actual si utilizarías o no el calentamiento con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.
6. Define el entrenamiento propioceptivo.
7. Explica basándote en la evidencia científica actual si utilizarías o no el

entrenamiento propioceptivo con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.

- 8.** Indica sobre la base de la evidencia científica actual si utilizarías o no el entrenamiento de estabilidad del tronco y la pelvis con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.
- 9.** Explica basándote en la base de la evidencia científica actual si utilizarías o no el entrenamiento excéntrico con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.
- 10.** Explica sobre la base de la evidencia científica actual si utilizarías o no vendajes funcionales y ayudas ortopédicas con el objetivo de prevenir las lesiones deportivas.

Readaptación física del deportista lesionado

Carlos Lalín Novoa

Cuando concluyas este apartado podrás:

- Comprender la importancia de un equipo multidisciplinario adecuado para el tratamiento y recuperación del deportista lesionado.
- Diferenciar entre recuperación funcional deportiva y readaptación deportiva, y las competencias que distintos profesionales tienen para ambos objetivos.
- Disponer de las directrices básicas que definen, para los distintos objetivos de trabajo, las características del entrenamiento en las distintas fases de readaptación del deportista lesionado.
- Disponer de las directrices básicas para la correcta ejecución de ejercicios en la fase de readaptación del deportista lesionado.

Índice

- 3.1. El readaptador fisicodeportivo
- 3.2. Recuperación funcional deportiva frente a readaptación fisicodeportiva
- 3.3. Reentrenamiento fisicodeportivo del deportista lesionado
 - Variables de estudio para la intervención
 - Fases del programa de reentrenamiento fisicodeportivo
- 3.4. El programa de readaptación fisicodeportiva
 - Componentes del programa de readaptación fisicodeportiva
 - Recomendaciones para el trabajo de fuerza
 - Recomendaciones para el trabajo de resistencia
 - Recomendaciones para el trabajo de movilidad articular
 - Recomendaciones para el trabajo de propiocepción
- 3.5. Pautas para la ejecución correcta y segura de los ejercicios en el proceso de readaptación del deportista lesionado
 - El ejercicio físico adecuado como herramienta de trabajo
 - Estabilidad corporal

Posición y movimiento artromuscular
Modelos de tensión-inhibición muscular
Síntesis
Cuestionario de asimilación

Hasta hace pocos años, los esfuerzos para recuperar al deportista lesionado se centraban en el tratamiento del traumatismo en sí, prestando atención al proceso terapéutico desde una perspectiva clínica (medicoterapéutica). Últimamente, los intereses se han orientado también hacia al desarrollo de estrategias y propuestas de intervención desde una perspectiva biopsicosocial. En este contexto actualmente se considera que un entrenamiento adecuado es también fundamental para que la evolución de la lesión sea más favorable y la incorporación del deportista se realice en el menor tiempo posible y de la forma más eficaz, eficiente y segura. Por ello, en este apartado se consideran las nociones más importantes de la readaptación fisicodeportiva.

3.1. El readaptador fisicodeportivo

La relación entre deporte de rendimiento y salud a corto plazo exige un constante equilibrio entre ambas dimensiones, ya que los problemas de salud afectan negativamente el rendimiento impidiendo precisamente el logro de su objetivo fundamental: rendir en el deporte.

La prevención de lesiones y la intervención propiamente dicha por medio de la **readaptación fisicodeportiva** deberían tener por objetivo el incremento de la esperanza de vida deportiva del deportista desde dos puntos de vista: la prevención de la recidiva y la prevención de otras manifestaciones patológicas. Esto implica que muchos profesionales y deportistas se preocupen por el estado de salud buscando lo que podríamos llamar un óptimo estado de salud deportiva como prerequisite necesario antes de construir, desarrollar y mejorar el estado de prestación deportiva.

La responsabilidad de restablecer, desarrollar, mejorar y/o mantener la salud deportiva del deportista recae en todos los profesionales dedicados a la actividad física, el deporte y la salud. Sin embargo, aunque muchos profesionales se han dedicado durante años a la prevención y readaptación del deportista lesionado, su actuación no ha tenido el reconocimiento necesario dentro de los ámbitos funcionales de la salud y del deporte (académico y profesional).

En muchas ocasiones, las medidas puestas a disposición del deportista para

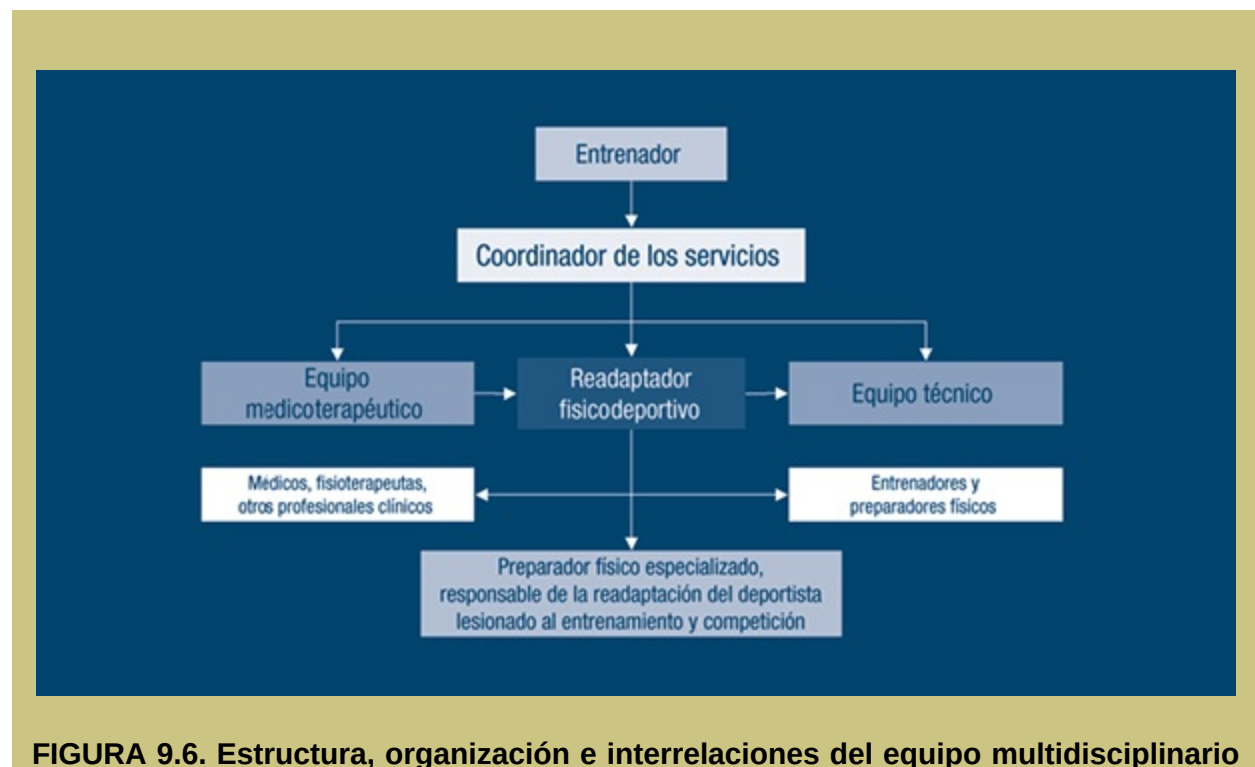
disminuir el riesgo de lesión o para intervenir en el proceso de recuperación se han basado más en propuestas del tipo ensayo-error que en propuestas sustentadas por criterios científicos de actuación. Estos aspectos, junto con la falta de formación científicoacadémica especializada, han provocado la existencia de un período de vacío entre la **fase clínica** (medicoterapéutica) y el ámbito o **fase no clínica** (reentrenamiento fisicodeportivo) de la recuperación funcional deportiva y readaptación física de las lesiones deportivas. En muchos casos, la falta de delimitación de las competencias profesionales entre los ámbitos funcionales de actuación (deporte-salud) y el reparto de responsabilidades a lo largo del proceso han provocado un conflicto de intereses y una problemática difícil de resolver.

Esta laguna científicoprofesional debe ser asumida mediante la formación especializada de los profesionales que así lo deseen, basada en las propias necesidades académicas y profesionales que estas situaciones reclaman. Tal responsabilidad debería ser competencia de los centros universitarios y de las distintas instituciones públicas y privadas, entre las que se encuentran los clubes deportivos, creadas para tal fin. Con ello existiría la posibilidad de conocer un ámbito de intervención profesional efectivo y de ofertar a la sociedad profesionales con competencias específicas en un área muy determinada que en la actualidad posee una demanda sociodeportiva importante.

La recuperación, el desarrollo y la mejora de la prestación deportiva que definen los procesos de adaptación a los estímulos y el control de la fatiga durante y después de la lesión son aspectos complejos que exigen la necesaria coordinación del equipo de trabajo y su seguimiento. Bricker y Fry (2006) observan que, cuando los deportistas perciben un fuerte apoyo social por los profesionales que diseñan y ejecutan los programas de recuperación, creen más en la eficiencia y eficacia de los programas. Por ello, es necesario formar y preparar a los profesionales en esta materia y delimitar las competencias profesionales en relación con los demás miembros del equipo de trabajo (médicos, terapeutas, preparadores físicos, etc.).

En el marco español, la responsabilidad en esta área de actuación funcional podría recaer en el **readaptador fisicodeportivo** (RaFD) en el marco de un modelo de estructura, organización e interrelación entre los miembros de un **equipo multidisciplinario** (figura 9.6). El RaFD puede ser definido como el preparador físico que forma y prepara al deportista lesionado, generalmente en una situación individual, en la realización de ejercicios apropiados y

seguros con el objetivo de prevenir, restablecer su condición física saludable y/o de rendimiento, y mejorar su competencia deportiva para incorporarse eficazmente lo antes posible al entrenamiento de grupo y a la competición. Con frecuencia se ha caído en el error de pensar que delante de una persona lesionada, sea deportista o no, el fisioterapeuta es prácticamente el único profesional que trabaja en su recuperación (Cos y Cos, 1999), excluyendo al preparador físico del proceso de rehabilitación (Ben, 1998). Estos profesionales deben poseer una amplia formación teórica y práctica en la prevención y asistencia de las lesiones deportivas, ayudando a mejorar los servicios de los equipos medicoterapéuticos de las instituciones deportivas (Pfeiffer y Magnus, 2001). Dada la utilidad y el conocimiento teórico y práctico que tienen los profesionales de la actividad física y el deporte, es necesario incorporar a estos profesionales a los equipos de trabajo medicoterapéuticos y tecnicodeportivos en relación con la prevención y readaptación física de las lesiones. No se trata, bajo ningún concepto, de sustituir el trabajo del equipo medicoterapéutico, sino exactamente todo lo contrario, de completar de manera coordinada lo que al fisioterapeuta le resultaría imposible porque requiere otros elementos y conocimientos de carácter biologicopedagógico acerca del ejercicio físico que en su formación no son objetivos de estudio (Alonso y León, 2001).



en la intervención del deportista lesionado. Obsérvese la figura del readaptador fisicodeportivo como integrante del equipo multidisciplinario de trabajo. En relación con las lesiones deportivas, el readaptador es el nexo de unión entre el equipo medicoterapéutico y el equipo técnico.

Original del autor.

3.2. Recuperación funcional deportiva frente a readaptación fisicodeportiva

La **readaptación física lesional** puede ser entendida como el conjunto de medidas medicoterapéuticas y fisicodeportivas destinadas a prevenir los riesgos de lesión, restablecer y desarrollar la salud deportiva, y mejorar u optimizar el rendimiento del deportista para posibilitar una mejor incorporación al entrenamiento y competición y posibilitar una vida deportiva más prolongada. Podríamos definir la salud deportiva como el grado de bienestar y de competencia deportiva que permite al deportista expresar a un nivel elevado los presupuestos de rendimiento en el entrenamiento y la competición, así como la disminución del riesgo de lesión lo máximo posible. El objetivo perseguido debe centrarse en el desarrollo, mejora y mantenimiento de lo que podríamos denominar como óptimo estado de salud deportiva durante el mayor tiempo posible.

Dentro del área de la readaptación lesional podríamos definir dos ámbitos funcionales de actuación profesional con objetivos, medios y competencias diferentes, pero en ocasiones comunes en cuanto a la utilización del ejercicio físico como una de sus herramientas de trabajo: la recuperación funcional deportiva y la readaptación fisicodeportiva.

La **recuperación funcional deportiva** (RFuD) puede definirse como el tratamiento o entrenamiento funcional sistemático de lesiones o disfunciones del aparato locomotor activo, de los aparatos de sostén y de apoyo pasivo, y de los sistemas neuromuscular y cardiopulmonar con el fin de **restablecer la función normal** (Einsingbach *et al.*, 1994). Esparza (1994) considera que es el proceso mediante el cual el **escalón medicosanitario** cura la estructura lesionada y recupera la función normal. También se puede considerar como parte de la rehabilitación que utiliza el movimiento deportivo producido por la actividad muscular con finalidades meramente terapéuticas y con unos objetivos traumatológicos, circulatorios y nerviosos claramente reconocidos (Lloret, 1990).

Los primeros intentos en nuestro país por conceptualizar el entrenamiento cuya finalidad es adaptar al deportista a los esfuerzos antes, durante y después de una lesión se los debemos al profesor Seirul-lo, quien en 1986 definió el concepto de **entrenamiento coadyuvante**. Bajo este epígrafe se encuentran las formas de entrenamiento que ayudan a la medicación y contribuyen de modo fundamental en la prevención de las lesiones de los deportistas, participando ocasionalmente de forma eficaz en la terapia poslesional. Desde entonces han existido diferentes intentos por definir y desarrollar esta área de intervención.

Lloret (1990) la define como área de conocimiento que perseguirá un trabajo exhaustivo de recuperación de las funciones de un deportista lesionado mediante un programa de entrenamiento especial, que debe planificarse y en el cual han de figurar los ejercicios destinados a mejorar la movilidad articular, la fuerza y el equilibrio artromuscular.

Por **readaptación físicodeportiva** (RFiD) se entiende el proceso mediante el cual se readapta a la persona a las **necesidades motrices previas a la lesión** de fuerza, persistencia, rapidez y coordinación (Soage, 1998). Desde nuestro punto de vista, puede representar el proceso de reajuste o modificación de los parámetros físicodeportivos generales y específicos del gesto y la acción deportiva con el fin de incorporar de la forma más rápida y segura posible al individuo a la práctica deportiva utilizando todos los recursos disponibles. Se trata de una **intervención no clínica**.

Para Commandre *et al.*, (1996), la readaptación físicodeportiva representa un período capital en el cual se integra la reeducación del deportista lesionado con las particularidades de las exigencias de la modalidad deportiva. El deportista comienza la recuperación en su disciplina deportiva enfrentándose de nuevo a las exigencias del entrenamiento y la competición. En ambos contextos se completa el entrenamiento del repertorio gestual de los esfuerzos mediante el entrenamiento de fuerza muscular y la propiocepción dirigida, sin olvidar el trabajo de resistencia, coordinación y rapidez (Prentice, 2001; Soage, 1998).

Los preparadores físicos tienen un papel importante como observador-consejero y realizador de la última fase de adaptación del lesionado al ritmo de competición (Silla, 1989). Según Prentice (2009), el preparador físico suele asumir la responsabilidad del diseño, ejecución y evaluación de la fase postaguda del proceso de rehabilitación. Durante este período debe existir una correcta coordinación entre el equipo medicoterapéutico, el readaptador

fisicodeportivo y el preparador físico, puesto que el control de la evolución de la patología, la adaptación progresiva del deportista lesionado y el control de la fatiga en la fase final de incorporación a la competición así lo exigen. En la figura 9.7 se presentan las posibles relaciones existentes entre los términos anteriormente expuestos.

Tanto la RFuD como la RFiD tienen un ámbito de actuación que delimita las competencias profesionales. Así, la RFuD se restringe a un ámbito clínico que utiliza las técnicas y modalidades propias de la terapia aplicada a las lesiones deportivas (termoterapia, crioterapia, hidroterapia, talasoterapia, electroterapia, poleoterapia, terapia manipulativa articular, masoterapia, cinesioterapia, técnicas miofasciales y de energía muscular, entre otras).

Por su parte, la RFiD pertenece a un área de intervención no clínica cuyo principal medio de intervención es el ejercicio físico para el reentrenamiento del esfuerzo físico (REEF), entendido como el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el cual se restablecen y mejoran los patrones fisicomotores (generales y específicos) de un deportista lesionado, facilitando en el menor tiempo posible un estado de bienestar óptimo para el esfuerzo que le facilite y garantice la incorporación a su actividad habitual con normalidad y diligencia. Otros autores lo definen como la reprogramación del proceso de entrenamiento después de una lesión (Esparza, 1994) o como el proceso que tiene por objetivo la recuperación de la prestación deportiva y la plena reincorporación a la práctica deportiva (Gal, 2001).

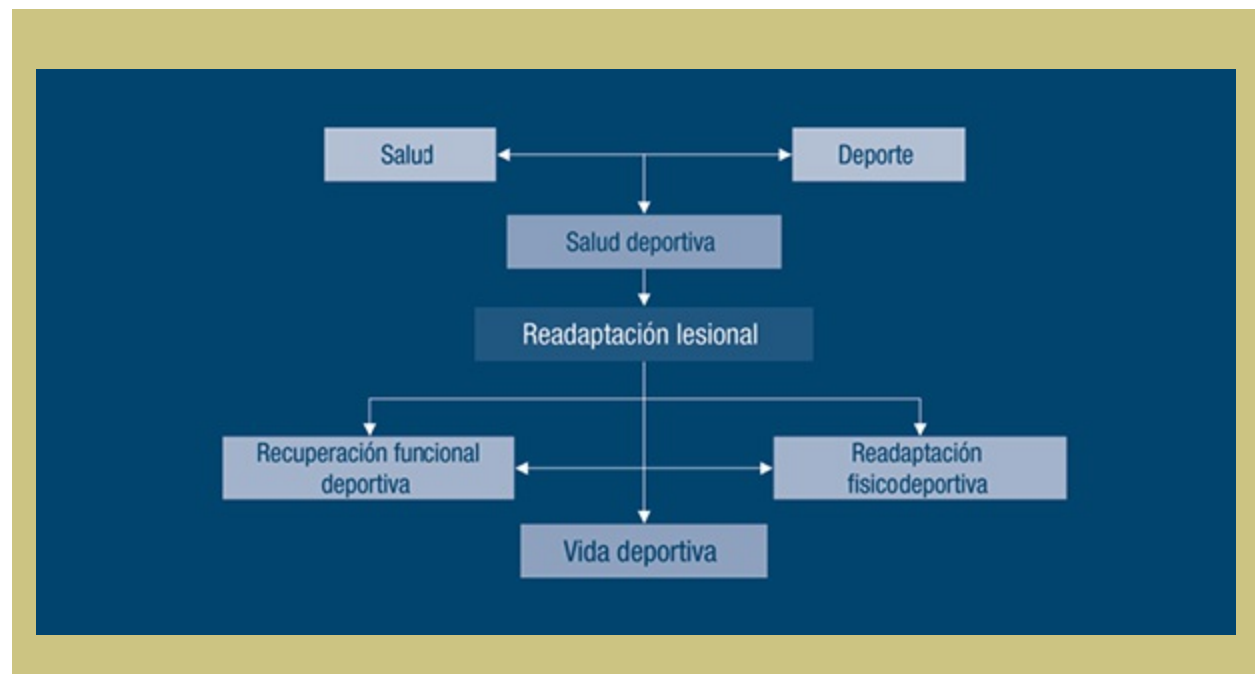


FIGURA 9.7. Relaciones entre la salud deportiva y la vida deportiva del deportista lesionado. La readaptación de lesiones abarca dos ámbitos claros de actuación: la recuperación funcional deportiva, cuyo referente es el ámbito clínico, y la readaptación fisicodeportiva, cuyo referente es el ámbito no clínico, utilizando el ejercicio para reincorporar al deportista al estado previo a la lesión. Una adecuada intervención durante este proceso garantiza una vida deportiva con menor riesgo de lesiones y con mayor número de años de práctica a máximo nivel.

Original del autor.

El nexo de unión entre ambos campos profesionales y, por tanto, la herramienta de intervención más útil para la prevención, el reentrenamiento y/o el tratamiento de las lesiones deportivas es el ejercicio físico. En la figura 9.8 se muestran las relaciones existentes entre la RFuD y la RfiD.

En la actualidad, tanto los clubes como los equipos medicoterapéuticos y técnicos podrían asumir que la prevención de las lesiones deportivas es una responsabilidad de todos, y además debería quedar claro que después de una lesión y tras superar la etapa de RFuD el deportista necesita un trabajo específico y especializado de adaptación deportiva progresiva antes de incorporarse a los entrenamientos con el grupo y a la competición. Si no es así, los procesos de recuperación y adaptación podrían estar condicionados a una prescripción de ejercicio o de tareas inadecuadas e insuficientes, no sólo provocando una reincorporación del deportista a la competición más lenta o precipitada con un mayor riesgo de recaída, sino también dificultando el objetivo de conseguir el estado de prestación óptimo (Tarragó *et al.*, 2004).

3.3. Reentrenamiento fisicodeportivo del deportista lesionado

Variables de estudio para la intervención

El reentrenamiento fisicodeportivo representa la forma o el medio básicos de facilitar y garantizar el proceso de readaptación al esfuerzo deportivo del individuo lesionado. Es requisito básico establecer un análisis de las **variables que determinan el programa de readaptación**. Las variables **individuo**, **modalidad**, **entrenamiento** y **lesión** quedan definidas por una serie de parámetros que permiten al readaptador-preparador fisicodeportivo realizar una aproximación hacia las características que hay que tener en

cuenta para la prevención y/o intervención en relación con las lesiones deportivas. Entre estas características cabría describir las siguientes subcategorías que se enumeran en la tabla 9.2. En relación con lo expuesto, podemos definir un modelo interpretativo de las relaciones que se establecen durante el proceso de readaptación fisicodeportiva y la reeducación del deportista lesionado, y las variables a considerar durante este proceso (figura 9.9).



FIGURA 9.8. Relaciones entre los ámbitos de actuación y los medios de intervención para la readaptación lesional del deportista lesionado. El ejercicio físico, además de ser el medio referente durante la readaptación fisicodeportiva, es un medio a utilizar durante la fase de recuperación funcional deportiva acompañando a las tradicionales técnicas de intervención del ámbito clínico.

Original del autor.

TABLA 9.2. Variables de estudio para la intervención en la prevención y readaptación de lesiones

Individuo	Historia deportiva y lesional, años de práctica, deportes practicados, valoración funcional, análisis postural y/o valoración artromuscular, hábitos de la vida diaria, hábitos deportivos, etc.
Modalidad deportiva	Puesto específico, categoría o nivel, prevalencia e incidencia lesional (epidemiología), exigencias anatómicas, biomecánicas, fisiológicas, psicológicas, psicomotrices o bioenergéticas de la modalidad, etc.
Entrenamiento o reentrenamiento del esfuerzo	Condiciones de entrenamiento, adecuación de materiales, criterios y orientaciones didáctico-metodológicas, criterios de seguridad, frecuencia, duración, intensidad de práctica, cualificación del equipo técnico, fecha de incorporación al entrenamiento, planificación y características de la programación de ejercicio físico para la readaptación al esfuerzo, seguimiento y control de la evolución, etc.
Lesión deportiva	Tipo, mecanismo de lesión, fecha de operación, fecha de inicio de la fase de rehabilitación funcional terapéutica, fecha de inicio de la recuperación funcional deportiva, fecha de inicio de la readaptación al esfuerzo en fase preventiva, fecha de inicio de la fase de readaptación fisicodeportiva, fecha final de los periodos, región anatómica afectada, prevalencia e incidencia lesional relativa, momento y lugar de la lesión, mecanismo, diagnóstico diferencial, seguimiento y control de la evolución, etc.

Original del autor.

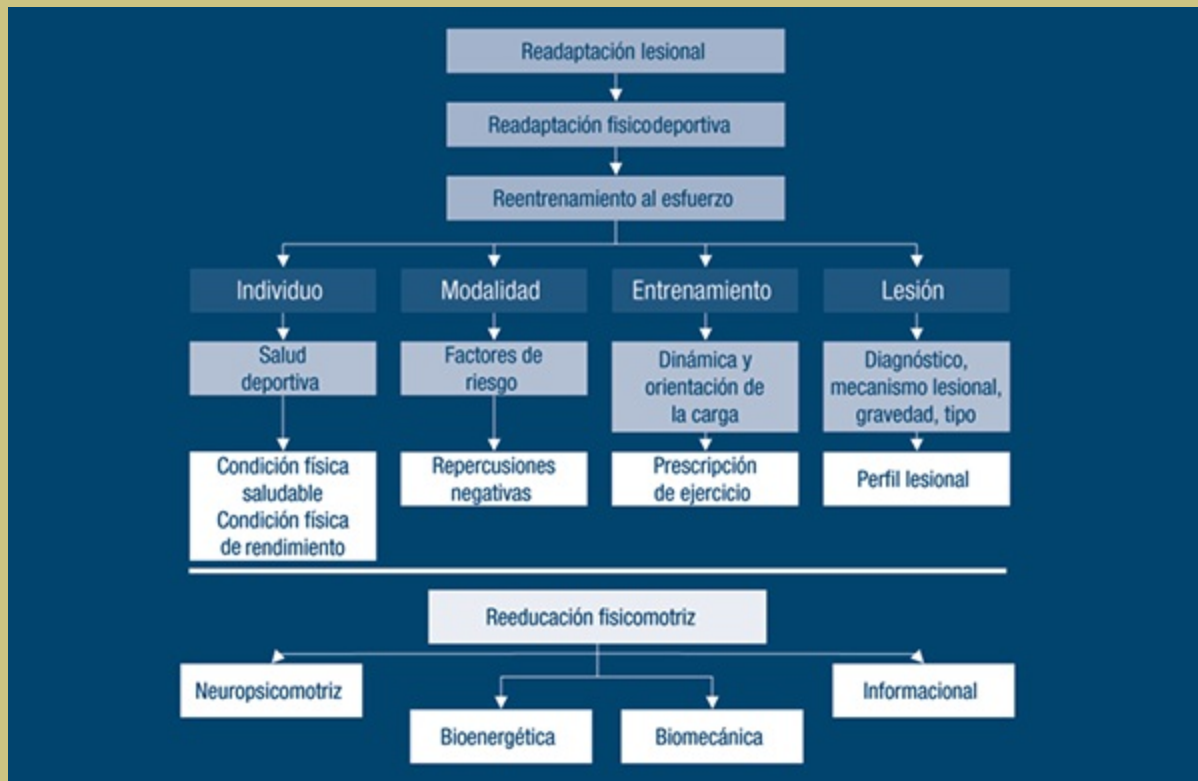


FIGURA 9.9. Modelo de intervención en la readaptación fisicodeportiva: variables que hay que considerar en el proceso de reentrenamiento del esfuerzo del deportista lesionado. Para establecer un modelo de intervención de readaptación

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

fisicodeportiva se requiere inicialmente analizar los numerosos factores asociados al deportista, a la modalidad deportiva, el entrenamiento y las características de la lesión. Un análisis adecuado de estas variables es requisito básico para establecer con éxito un programa de reeducación que permita al deportista adquirir los niveles previos a la lesión en los procesos neuropsicomotores, bioenergéticos, biomecánicos e informacionales requeridos en la modalidad deportiva.

Original del autor.

El conocimiento de estos aspectos va a permitir la elaboración de un plan de actuación mucho más cercano a la realidad del deportista lesionado. Con ello puede obtenerse una información relevante para la correcta planificación y aplicación del entrenamiento específico e individualizado del deportista.

Fases del programa de reentrenamiento fisicodeportivo

El **programa de reentrenamiento** para la readaptación fisicodeportiva al esfuerzo está constituido por un conjunto ordenado y sistemático de recomendaciones para el restablecimiento de la salud deportiva y el desarrollo y/o mejora de la competencia funcional del sujeto lesionado con el fin de optimizar los presupuestos de rendimiento para la competición deportiva. Queda definido por el tipo de actividades a desarrollar, la intensidad, duración y frecuencia de los esfuerzos, y, por último, por la progresión que se pretenda para alcanzar lo antes posible los objetivos (ACSM, 1999; Rodríguez, 1995; Bouchard *et al.*, 1994). Además, debe apoyarse en criterios de seguridad deportiva, definiéndose como el conjunto de consejos fisicodeportivos destinados a garantizar la salud deportiva.

La actividad del deportista en el proceso de reentrenamiento debe dirigirse hacia la adquisición, desarrollo, perfeccionamiento y consolidación de recursos útiles y eficaces que optimicen sus posibilidades de rendimiento una vez incorporado al entrenamiento del equipo y a la competición (Buceta, 1998). Distinguiremos, por tanto, dos aspectos a tener en cuenta: la capacidad de rendimiento para el entrenamiento a un nivel igual o superior al resto del equipo una vez que se incorpora al entrenamiento de grupo y, por otro lado, el rendimiento del deportista una vez que se reintegra a la competición oficial. El primero de ellos hace referencia al nivel de asimilación de la información, la ejecución de conductas y el desarrollo de hábitos para la aplicación de los recursos del deportista en el entrenamiento; mientras que el segundo implica la puesta en práctica eficaz de los recursos disponibles para

la competición (Buceta, 1998).

La preparación del deportista lesionado representa un proceso didácticamente organizado con su sistema metodológico de aplicación de los ejercicios físicos orientados a la obtención de la máxima disposición funcional de los presupuestos de rendimiento deportivo. De este modo, podemos definir varios sistemas que integran el entrenamiento de readaptación fisicodeportiva y que permiten identificar el tipo de entrenamiento, y por consiguiente identificar qué propuesta de tareas se puede aplicar. Entre ellos podemos destacar (Silla, 1989; Mula, 1996; Seirullo, 1986):

- De aplicación **antes de la lesión** (entrenamiento supresivo).
- De aplicación **durante la lesión** (entrenamiento de evitación y entrenamiento alternativo).
- De aplicación **durante la recuperación** (entrenamiento posdramático y entrenamiento perentorio o de resolución final).

El sistema debe ser observado y expuesto como un continuo entre los diferentes subsistemas. De este modo, se identifica una primera fase que pertenece al ámbito preventivo propiamente dicho, y posteriormente se desarrollan otros períodos relacionados con la recuperación funcional de la zona afectada y el mantenimiento de las capacidades de las zonas no afectadas. El último sistema representa el proceso de readaptación fisicodeportiva diseñado específicamente para el deportista lesionado. El punto de unión entre ellas correspondería al control y seguimiento que el readaptador debe tener del lesionado tras el retorno al entrenamiento con el grupo y a la competición oficial con el objetivo de evitar en la medida de lo posible una recaída u otra lesión. Las **recaídas** tienen que ver con el concepto de gravedad de la lesión, definido como el número de días perdidos desde la fecha de la lesión hasta la fecha de incorporación completa a las actividades de entrenamiento con el grupo y la competición (Fuller *et al.*, 2007a). Tiene que ver con que se produzca una lesión del mismo tipo y localizada en la misma región anatómica después de que el deportista retome la actividad. Si la recaída sucede antes de los 2 meses después de la vuelta a la actividad, se considera temprana; entre 2 y 12 meses es tardía, y después de 12 meses se considera retardada. Por tanto, el proceso de readaptación fisicodeportiva no finaliza con la vuelta a la competición del deportista, sino que requiere una atención adecuada y especializada a lo largo de un período dependiente de los

factores analizados. Una vez integrado el deportista en actuaciones de competición son, pues, necesarios un control y un seguimiento orientados a la prevención de la recaída del deportista, dando consejos sobre ejercicios o tareas a realizar en el entrenamiento tanto al propio lesionado como al equipo técnico.

Conforme a los distintos objetivos que se persigan con un deportista lesionado, algunos autores han aportado una propuesta de delimitación de las fases del programa de entrenamiento para la readaptación del deportista lesionado (tabla 9.3).

No olvidemos que, independientemente del tipo de entrenamiento que se quiera plantear, los objetivos y contenidos a desarrollar deben dirigirse según criterios científicos hacia el correcto diseño y aplicación de ejercicios físicos adecuados y adaptados a la patología. De este modo, además de la fase de control y seguimiento del deportista lesionado cuando está integrado en actuaciones de competición, pueden quedar definidas cuatro **fases de intervención** orientadas a la reeducación y readaptación fisicodeportiva:

- Fase de aproximación al gesto deportivo.
- Fase de orientación al gesto y a la acción deportivos.
- Fase de preoptimización del gesto y de la acción deportivos.
- Fase de optimización del gesto y de la acción deportivos (integración en el entrenamiento y/o competición).
- Fase de control y seguimiento del deportista lesionado cuando está integrado en actuaciones de competición.

En la tabla 9.4 se muestra la adecuación de cada período o fase con respecto al ámbito de actuación y el carácter o tipo de ejercicios que se pueden diseñar en cada uno de ellos.

Durante la readaptación lesional del deportista existe un período de readaptación general en el que el papel del profesional debe estar orientado a las zonas libres de lesión, y, por tanto, cobra especial protagonismo la intervención medicoterapéutica.

TABLA 9.3. Fases del período de readaptación ante una lesión muscular

<i>Fases del proceso</i>	<i>Características</i>
Fase de profilaxis o prevención: Entrenamiento coadyuvante	Hay que tener en consideración el papel del trabajo excéntrico para la prevención de lesiones, la dinámica de los calentamientos y de los estiramientos, y la preparación física del deportista fuera de la temporada
Fase de sustentación: Entrenamiento de evitación Entrenamiento de mantenimiento	Se prolonga desde el momento en que se produce la lesión hasta el momento en que el equipo médico indica que se puede empezar a trabajar con la zona afectada
Fase durante la recuperación: Entrenamiento de cooperación Entrenamiento alternativo	Se produce cuando el deportista ha superado el período de inmovilización y ya ha empezado el de rehabilitación. El objetivo es el refuerzo o ejecución de parte del tratamiento de rehabilitación hasta el alta médica
Fase de desenlace o perentoria	Una vez obtenida el alta médica, debemos perseguir el objetivo de reconducir al deportista a su estado de prestación óptimo y llevarlo a la competición lo más rápido y seguro posible. Cobra importancia el diseño de ejercicios específicos realizados a alta intensidad y adaptados de forma especial a las exigencias de la propia competición y a las necesidades del deportista

Adaptado de Tarragó JR et al. Readaptación física de la lesión musculotendinosa. En: Balius R. Patología muscular en el deporte: diagnóstico, tratamiento y recuperación funcional. Masson, 2004.

TABLA 9.4. Fases, ámbito de actuación y orientación del ejercicio físico durante la readaptación de lesiones

<i>Fase de readaptación</i>	<i>Ámbito de actuación</i>	<i>Tipo de ejercicio (orientación de la carga)</i>
Fase de aproximación	RFuD (+++) RFiD (+)	General
Fase de orientación	RFuD (++) RFiD (++)	General-especial
Fase de preoptimización	RFuD (+) RFiD (+++)	Especial-específico
Fase de optimización	RFiD (+++)	Específico

RFuD: recuperación funcional deportiva; RFiD: readaptación fisicodeportiva. Nivel de predominio de un ámbito sobre el otro: escala 1 (+), 3 (+++).

Original del autor.

En el período de readaptación fisicodeportiva propiamente dicha, la intervención se centra en la reeducación, progresión y optimización de los prerrequisitos y presupuestos de rendimiento, sometiendo de manera adecuada, segura y progresiva el tejido afectado a compromiso fisicofuncional. En la **fase de aproximación**, la readaptación fisicodeportiva debe implementarse de manera paralela a la intervención terapéutica, orientando las propuestas de trabajo hacia el mantenimiento de la condición física saludable de los tejidos no dañados, aunque en ocasiones en el último

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

período, y si la evolución lo permite, podría iniciarse una aproximación hacia los patrones, gesto o acciones de la modalidad de forma muy controlada. Esto implica el inicio del reentrenamiento de la capacidad física general y la adecuación de los patrones coordinadores. En la **fase de orientación**, el papel del readaptador fisicodeportivo sobre la estructura dañada es más importante en colaboración con el equipo medicoterapéutico. Su papel se debe centrar en desarrollar y mejorar progresivamente los aspectos relacionados con la condición física orientada hacia el rendimiento e intentar elevar la funcionalidad de la región afectada. La **fase de preoptimización** constituye la puesta en acción de las estrategias que conduzcan lo antes posible al deportista a incorporarse a la actividad precompetitiva con normalidad y diligencia. Es por ello por lo que los ejercicios y las tareas planteadas deben crear el compromiso funcional necesario para que el deportista y en particular el tejido lesionado se adapten correctamente a las actividades prescritas y al deporte en sí. En esta fase se debería obtener el alta médica que permita al individuo incorporarse al entrenamiento previo a la competición. Finalmente, en la **fase de optimización**, el sujeto debe incorporarse a la competición lo antes posible sin olvidar una serie de aspectos importantes: primero habría de obtener el alta deportiva, no tendría que haber dolor ni molestias indebidas, las evaluaciones realizadas deberían manifestar valores comparativos iguales o mejores que el miembro no afectado y no se debería asumir riesgos innecesarios para un mejor control de las recaídas.



FIGURA 9.10. Componentes del programa de reentrenamiento del esfuerzo del deportista lesionado. Al igual que en cualquier otro programa de entrenamiento, la combinación óptima de los componentes de entrenamiento va a determinar el éxito de un programa de reentrenamiento del esfuerzo del deportista lesionado. Inicialmente el objetivo del programa es establecer unos niveles de condición saludables, tomando como referencia para cada una de las capacidades algunas de las directrices establecidas por distintos Organismos. Una vez que el deportista ha adquirido una condición física saludable, el objetivo del programa de reentrenamiento se orienta a optimizar los factores que determinan el rendimiento en la modalidad deportiva. Como parte relevante del programa, véase que el trabajo de propiocepción es objetivo durante el proceso de reentrenamiento.

Original del autor.

Estas fases se han de configurar dentro de la elaboración de un programa de readaptación fisicodeportiva integral (físico, psíquico y grupal), teniendo en cuenta sus componentes y elementos de diseño y aplicación específicos, la intervención coordinada y supervisada de las actuaciones del equipo multidisciplinario y el diseño de criterios de evaluación e incorporación del deportista lesionado al entrenamiento y/o competición.

3.4. El programa de readaptación fisicodeportiva

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

Componentes del programa de readaptación fisicodeportiva

En la figura 9.10 se muestra la evolución de los objetivos de trabajo y los elementos que determinan los componentes del programa de readaptación lesional.

Los **objetivos del programa de reentrenamiento** deben focalizarse inicialmente en la recuperación de un nivel de **condición física saludable** asociado a la optimización de la fuerza resistencia, la resistencia cardiorrespiratoria, la movilidad general y la composición corporal. Este nivel de condición física saludable es el requisito básico para desarrollar posteriormente mediante un trabajo progresivo los factores condicionales que determinan el rendimiento en competición. Además, estos factores condicionales deben integrarse progresivamente en el contexto motor e informacional requerido en la competición. En definitiva, cuando el deportista alcanza un nivel de rendimiento equiparable al establecido para la condición física saludable, se requiere su **transferencia a las necesidades de competición**. La reeducación sensoriomotriz o propiocepción debe ser parte integrante de todo el programa, incrementando el nivel de dificultad y de especificidad del gesto deportivo. Como en cualquier proceso de entrenamiento, los **componentes del entrenamiento** (tipo de ejercicio, intensidad, duración, frecuencia y densidad) determinan la progresión de la adaptación del deportista.

En los siguientes apartados se pretende, sin tratar de manera específica una lesión, exponer algunas de las consideraciones básicas para desarrollar la fuerza, resistencia y movilidad articular en la ejecución de un programa de reentrenamiento fisicodeportivo, resaltando su progresión para cada una de las fases especificadas en función de los dos objetivos principales: condición física saludable y transferencia a las necesidades de competición. En este contexto se especifica la evolución del trabajo de propiocepción como integrante de todo el programa de reentrenamiento.

Recomendaciones para el trabajo de fuerza

El **entrenamiento de fuerza** es uno de los principales objetivos de un programa de readaptación lesional, especialmente si consideramos las serias consecuencias que la ausencia de movimiento tiene sobre la función muscular

tras la lesión. Desde esta perspectiva, un programa de readaptación orientado al trabajo de fuerza debe considerar el restablecimiento de los niveles de normalidad para los factores neuromusculares asociados al desarrollo de la fuerza: hipertrofia muscular, coordinación intramuscular, coordinación intermuscular, capacidad elástica y potenciación del reflejo miotático. Finalmente, se debe preparar al deportista para que sea capaz de manifestar los niveles de fuerza en el contexto en el que se desarrolla la competición, integrando la aplicación de fuerza a las características motrices e informacionales de la modalidad deportiva. En definitiva, el programa de readaptación debe estar diseñado para la adquisición de la fuerza útil requerida en la modalidad deportiva. Este programa de readaptación de los niveles de fuerza debe ser diseñado y realizado con criterios de salud deportiva y rendimiento.

Los principios generales del entrenamiento descritos previamente son aplicables a la programación de la readaptación de la fuerza. Es relevante considerar que, como consecuencia de la lesión, la reserva actual del deportista ha disminuido considerablemente, y, por tanto, éste es capaz de obtener adaptaciones positivas con una carga de trabajo relativamente baja. El nivel de la carga de trabajo debe, pues, ajustarse al nivel de reserva actual del deportista, que va a ser dependiente de la gravedad de la lesión, de la estructura afectada y del tiempo de baja médica. A partir de la carga inicial de trabajo, inicialmente el volumen de trabajo y después la intensidad de la carga deben incrementarse progresivamente. En este sentido, se ha demostrado la eficacia de la rehabilitación con un incremento de la fuerza y la hipertrofia muscular en programas de ejercicios de resistencia progresiva (ACSM, 2002).

Aunque tradicionalmente el entrenamiento con ejercicios de resistencia progresiva se ha centrado principalmente en el desarrollo de la fase concéntrica del movimiento, últimamente se ha resaltado la importancia para la rehabilitación de las lesiones deportivas del trabajo de la fase excéntrica del movimiento (Prentice, 2001). Hay que considerar que las lesiones musculares suceden normalmente tras la realización de contracciones musculares con un componente excéntrico elevado (Cabral de Oliveira y Pérez, 2001). De hecho, el trabajo excéntrico es integrante del modelo de trabajo desarrollado por Fife y Stanish, uno de los más populares para el tratamiento de procesos patológicos crónicos en los tendones de Aquiles y rotuliano:

- *Fase 1.* Estiramiento: mantener un estiramiento estático durante 15 a 30 seg y repetirlo de 3 a 5 veces.
- *Fase 2.* Ejercicio excéntrico: despacio los días 1 y 2, moderado los días 3 al 5 y rápido los días 5 a 7. Aumentar la resistencia externa y repetir el ciclo. Debe realizarse 3 series de repeticiones.
- *Fase 3.* Estiramiento estático como en la fase 1.
- *Fase 4.* Hielo durante 5 a 10 min para reducir la tumefacción y controlar el dolor.

No obstante, aunque diferentes estudios han demostrado la pertinencia de la utilización de los ejercicios excéntricos en las patologías tendinosas y musculares, su eficacia sigue siendo muy discutida (Young *et al.*, 2005; Croisier, 2004; Öhberg *et al.*, 2004; Purdam *et al.*, 2004).

En la figura 9.11 se muestra un ejemplo de trabajo concéntrico-excéntrico de aplicación en la readaptación de la fuerza. El movimiento ascendente (fase concéntrica) y descendente (fase excéntrica) debe realizarse según los criterios de velocidad señalados. La amplitud ha de ser la máxima posible siempre y cuando no exista dolor. Por último, en cuanto a la carga levantada, se progresará en función de la manifestación de dolor o de la capacidad para soportar la carga según las repeticiones indicadas.

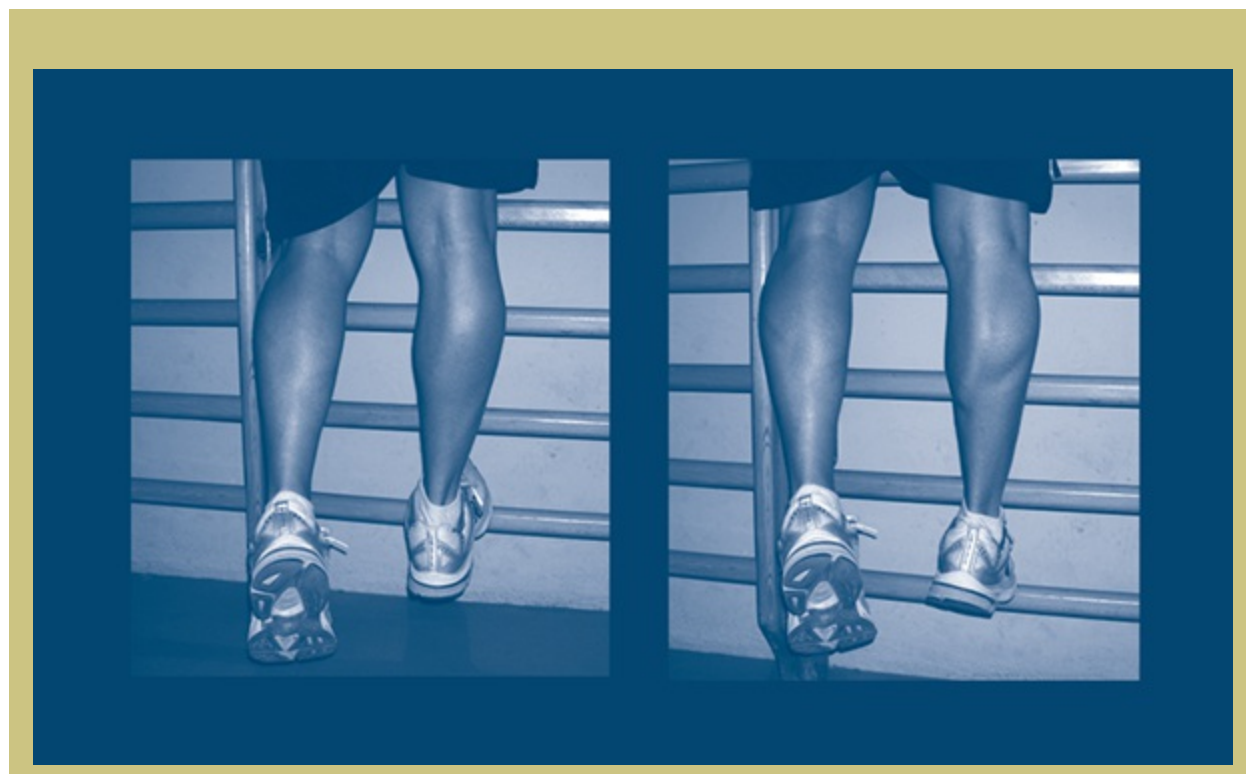


FIGURA 9.11. Ejemplo de trabajo concéntrico-excéntrico de aplicación en la readaptación de la fuerza.

Original del autor con permiso del deportista.

Otro aspecto de interés en la readaptación de la fuerza muscular es el grado de amplitud de trabajo en función del grupo muscular solicitado. En este sentido, Cos y Porta (1998) han identificado cuatro tipos de trabajo: amplitud total, externa, interna y media. Como criterios de trabajo señalan:

- Trabajar en amplitud total siempre que sea posible.
- Cuando el trabajo en amplitud total implique tensiones excesivas o movimientos contraindicados, será conveniente limitar la amplitud del movimiento.
- Los músculos que necesiten acortamiento es conveniente trabajarlos en amplitud interna o media.
- En los músculos que necesiten aumentar su longitud es conveniente la combinación del trabajo en amplitud externa y total, procurando además la realización de contracciones isotónicas excéntricas.
- Con respecto al tipo de acción muscular, Cos y Cos (1999) señalaron que para el trabajo con los músculos tónicos se recomienda la realización de acciones musculares excéntricas (en amplitud total y externa), y para los músculos fásicos se recomiendan las acciones concéntricas (en amplitud interna y media).
- Ante inestabilidades articulares o individuos hiperlaxos es recomendable el trabajo en amplitud media e interna.
- Finalmente, se recomienda que al término de las sesiones se realicen ejercicios de estiramiento de todos los grupos musculares trabajados, excepto en los casos de músculos que requieran acortamiento y ante inestabilidades articulares.

Otro de los aspectos a considerar en la readaptación del entrenamiento de fuerza es la utilización de ejercicios en cadena cinética cerrada o abierta (figura 9.12). Se considera que los ejercicios en cadena cinética cerrada, como el presentado en la figura 9.12a, muestran una mayor funcionalidad y seguridad artromuscular en relación con los ejercicios en cadena cinética abierta, como el de la figura 9.12b. No obstante, los ejercicios en cadena cinética cerrada deben garantizar una postura equilibrada y no influir de manera negativa en otra región corporal. Para ello, no se debe rotar la

columna durante la realización de estos ejercicios si se realizan con carga. En sedestación, la recogida de la carga debe realizarse con prudencia puesto que el compromiso mecánico es mayor a nivel discal. Por ejemplo, en el ejercicio de la figura 9.12a el sujeto debe realizar una media sentadilla manteniendo un control tonicopostural a nivel de la pelvis, colocar el apoyo de los pies a la anchura de las caderas y con la rodilla en una posición que no comprometa la articulación femorrotuliana (forzar el valgo). El ejercicio de la figura 9.12c es otro ejemplo de ejercicio en cadena cinética abierta cuyo principal problema se centra en el control que hay que tener en la anteversión de la cadera para no forzar una hiperlordosis lumbar compensatoria. Igualmente, aunque al inicio de un programa de readaptación de fuerza puede ser más adecuado el trabajo con máquinas, progresivamente el trabajo debe orientarse a la utilización de ejercicios con pesos libres debido a las ventajas descritas previamente respecto al control del movimiento y a la mejora del rendimiento deportivo. El trabajo progresivo con pesos libres permite introducir además con mayor seguridad la ejecución de ejercicios específicos asociados a la motricidad de la modalidad deportiva.

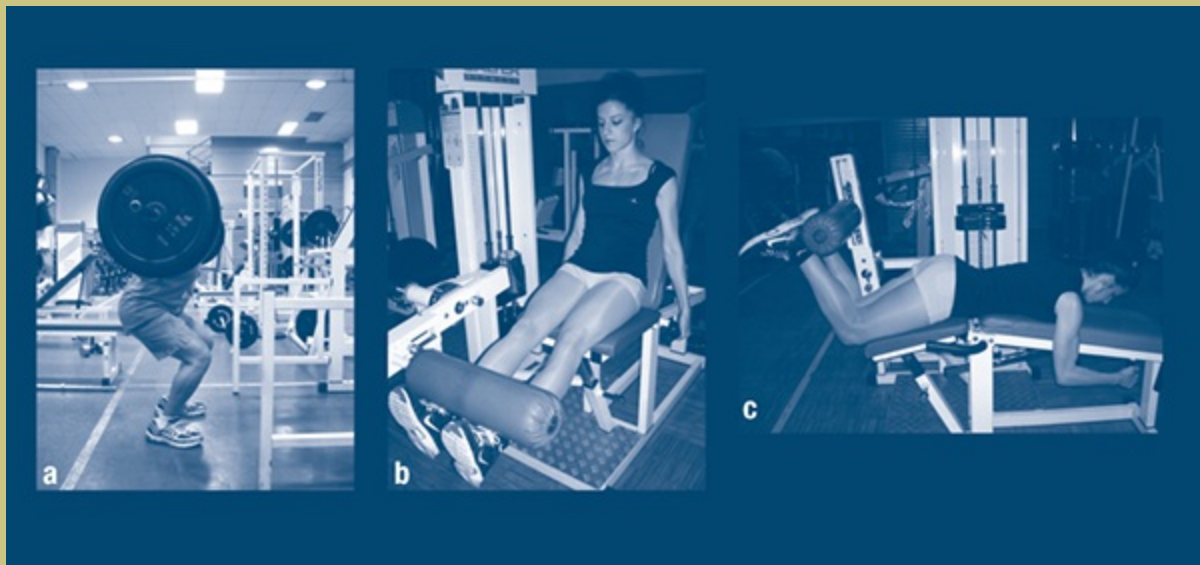


FIGURA 9.12. Ejemplo de readaptación de la fuerza con ejercicios en cadena cinética cerrada y abierta.

Original del autor con permiso de los deportistas.

La utilización de la electroestimulación y de la estimulación vibratoria

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

neuromuscular son dos métodos interesantes para incorporar en los programas de reentrenamiento lesional, especialmente en las primeras fases de readaptación. La electroestimulación puede servirnos para producir un incremento de la fuerza muscular, reeducación de la acción muscular, facilitación de las contracciones musculares, incremento de la capacidad funcional, resistencia muscular y general, incremento de la velocidad de las contracciones musculares, incremento del aporte local de sangre, aumento agudo de la fuerza, mejora de la eficiencia muscular y facilitación de la relajación y la recuperación (Ferrer y Pérez, 2003).

En cuanto a la vibración neuromuscular, se ha combinado con el entrenamiento convencional de fuerza en un intento por conseguir mayores ganancias en el rendimiento muscular que con la realización de entrenamiento con resistencias. Aunque existe una falta de estudios estrictamente controlados sobre el efecto del entrenamiento con vibración, los hallazgos recientes sugieren que la aplicación de la vibración neuromuscular puede tener un beneficio agudo y/o crónico en el entrenamiento sobre la fuerza, potencia y capacitación muscular (Cardinale y Wakeling, 2005; Luo *et al.*, 2005). No obstante, a falta de estudios que indiquen una mayor evidencia y aplicabilidad en el ámbito de la readaptación lesional, deberá optarse por la prudencia en el uso de esta herramienta.

Uno de los aspectos más importantes a considerar en los programas de readaptación de la fuerza muscular es el análisis de la manifestación de la misma que se demanda en competición. Este análisis es relevante tanto en la progresión del entrenamiento con pesas como en la del entrenamiento de los ejercicios específicos. En el marco de este análisis, el primer factor relevante es la velocidad de ejecución que requiere la acción motriz de competición. En el caso de las numerosas modalidades deportivas que requieren la manifestación de fuerza explosiva ante distintos niveles de carga, sería un error que podría retrasar el proceso de readaptación la introducción del trabajo de ejercicios específicos sin previamente realizar un trabajo con pesas que requiera la ejecución de las repeticiones en la fase concéntrica a la máxima velocidad de ejecución. En este sentido, en el trabajo con pesas, además de incrementar poco a poco el nivel de carga, se requiere que progresivamente y en función del grado de adaptación muscular se aumente también la velocidad de ejecución. Del mismo modo, la introducción en el programa de readaptación de ejercicios que simulen la acción motriz de competición debe realizarse de forma progresiva, no sólo en cuanto al

volumen de entrenamiento, sino también y específicamente en cuanto a la velocidad de ejecución.

El desarrollo de la máxima velocidad de ejecución en los ejercicios con pesas no es garantía de seguridad para el proceso de readaptación para la ejecución también a la máxima velocidad de los ejercicios específicos. En este sentido, hay que considerar que el patrón mecánico y motor de los ejercicios con pesas y de los ejercicios específicos difiere significativamente. La progresión de la velocidad de ejecución debe ser aplicable a los distintos ejercicios específicos inherentes a la modalidad deportiva. Por ejemplo, la ejecución a máxima velocidad de carrera sin cambio de dirección no es garantía de seguridad para el proceso de readaptación para la ejecución a la máxima velocidad de acciones explosivas que requieren cambios de dirección o de acciones explosivas con golpeo o lanzamiento de un móvil.

En definitiva, el proceso de readaptación de la fuerza debe seguir los principios generales del entrenamiento de cualquier deportista, pero incidiendo específicamente en una progresión más lenta, que debe atender inicialmente a primar más la patología que el rendimiento, y, por tanto, únicamente deben incluirse ejercicios de mayor exigencia cuando existe la seguridad de que el deportista está preparado y el riesgo de recaída sea mínimo. Este trabajo debe ser controlado y coordinado por el equipo terapéutico y técnico, y específicamente debe estar basado en las características del deportista y su perfil lesional, de la modalidad deportiva y de la lesión.

Seguidamente se distribuyen de forma general los objetivos y principales contenidos asociados a las distintas fases del programa de reentrenamiento lesional:

- En el período correspondiente a la **fase de aproximación** sería necesario mejorar los niveles de base hipertrófica obtenidos en la fase terapéutica. Este objetivo debe perseguirse fundamentalmente mediante trabajo con pesas, primero en máquina y después con peso libre, e incidiendo fundamentalmente en un trabajo de fuerza resistencia a baja intensidad relativa, sin llegar al fallo muscular, y con ejecución a velocidad moderada de la máxima movilidad articular posible.
- En el período o **fase de orientación** dirigiremos el trabajo hacia el desarrollo de la coordinación intramuscular mediante entrenamientos orientados a la manifestación de fuerza explosiva. Este objetivo debe perseguirse fundamentalmente mediante el trabajo con pesas con peso

libre, aumentando progresivamente la velocidad de ejecución de la fase concéntrica hasta que sea máxima. De forma simultánea se puede comenzar a trabajar ejercicios asociados a la motricidad específica de la modalidad deportiva sin que la velocidad de ejecución sea máxima.

- En el período o **fase de preoptimización** se mejorará además la coordinación intermuscular, así como la capacidad elástica y la potenciación del reflejo miotático. Para ello se requiere ejecutar ejercicios que simulen la competición hasta llegar a desarrollar en esta fase la fuerza específica en las condiciones de fuerza-velocidad requerida en competición.
- Finalmente, en el período o **fase de optimización**, como su nombre propiamente indica, se buscará la expresión óptima de rendimiento de las acciones realizadas en el entrenamiento con el grupo y la competición. En consecuencia, los contenidos de trabajo tienen que simular la competición desde la perspectiva condicional, motriz e informacional.

Recomendaciones para el trabajo de resistencia

El **entrenamiento de resistencia** debe considerarse un contenido básico de los programas de readaptación lesional. Recordemos que incluso en períodos cortos de inactividad hay evidencia científica de reversibilidad en la adaptación de los principales factores fisiológicos asociados al rendimiento de resistencia. Así pues, es importante en la medida de lo posible y en función de las características de la lesión continuar con ejercicios de contenido aeróbico incluso en el período de tratamiento clínico.

El entrenamiento de resistencia durante el período de readaptación no sólo debe incluirse en las modalidades deportivas en las que la resistencia es un factor de rendimiento. Para las restantes modalidades deportivas un óptimo desarrollo de la resistencia cardiovascular permite realizar sesiones de entrenamiento de mayor calidad y optimizar la recuperación entre ejercicios y sesiones. Además, para todas las modalidades deportivas, el entrenamiento de resistencia durante el período de readaptación contribuye a recuperar los niveles óptimos de composición corporal.

El primer objetivo del entrenamiento de resistencia durante el período de readaptación de la lesión es alcanzar unos niveles óptimos de resistencia cardiovascular. Este nivel puede establecerse en el punto en que el deportista sea capaz de realizar un entrenamiento equivalente al recomendado por

distintos Organismos para obtener índices de resistencia cardiorrespiratoria saludables. Esto implica que el deportista sea capaz de realizar actividades que impliquen la participación de grandes masas musculares durante un período de tiempo prolongado. Esto se traduce en términos cuantitativos y cualitativos según las últimas recomendaciones del American College of Sports Medicine y la American Heart Association (Haskell *et al.*, 2007) en la ejecución 5 días a la semana de una actividad aeróbica de moderada intensidad (equivalente a un paseo enérgico) durante un período mínimo de 30 min o a la ejecución 3 días a la semana de una actividad de intensidad vigorosa (equivalente a carrera continua o trote) durante un período mínimo de 20 min, o a una combinación de actividad aeróbica de intensidad moderada o vigorosa.

Lógicamente, el nivel inicial de los componentes del entrenamiento de resistencia en las primeras sesiones es dependiente de las características de la lesión y del tiempo de inactividad. Así, para algunos deportistas, la ejecución de actividad aeróbica moderada puede ser suficiente, mientras que otros pueden requerir la combinación de actividad moderada y vigorosa. En el caso de la actividad aeróbica vigorosa es recomendable la utilización de métodos continuos fraccionados, realizando de esta manera un volumen de trabajo óptimo alternando períodos de recuperación. Nuevamente, la aplicación coherente de los principios del entrenamiento es el requisito básico a considerar.

Cuando el deportista ya esté capacitado para realizar un esfuerzo aeróbico continuo a intensidad vigorosa de ~ 30 min, podremos considerar la orientación del entrenamiento en función de las demandas de resistencia de su especialidad deportiva. De esta manera, para los esfuerzos máximos continuos, en función de la duración de la distancia de competición podremos incluir un trabajo de mayor duración y/o de mayor intensidad. Nuevamente el programa de readaptación debe basarse en criterios de progresión, ejecutando inicialmente métodos continuos de intensidad moderada, seguidos por métodos continuos de intensidad elevada y métodos fraccionados de intensidad moderada. Seguiremos la progresión con los métodos de mayor intensidad, como son los métodos fraccionados de intensidad elevada. La progresión para los esfuerzos intermitentes, como los deportes de equipo, debe basarse en la ejecución de los métodos continuos con variaciones de la intensidad, para después introducir de manera progresiva, fundamentalmente mediante el trabajo de circuitos, aceleraciones y cambios de dirección en

progresión de intensidad.

A continuación se especifica la progresión en el trabajo de resistencia en función de las fases indicadas del período de reentrenamiento lesional. Es necesario nuevamente resaltar que esta progresión es sólo un criterio de referencia que debe adaptarse en función de los numerosos factores que inciden en las características de la lesión.

- En el período correspondiente a la **fase de aproximación**, los contenidos para el desarrollo de la capacidad de resistencia en el deportista lesionado deben dirigirse hacia la adaptación de los patrones de marcha-carrera y a la realización de desplazamientos controlados con variaciones de trayectorias a intensidades aeróbicas moderadas y organizadas de manera fraccionada (períodos de 1-5 min), con volumen total de los esfuerzos de 15 min, utilizando métodos continuos fraccionando la duración total y sin variar la velocidad.
- En el período correspondiente a la **fase de orientación**, cuando el volumen de la carga lo permita (mínimo 30 min en esfuerzos aeróbicos), puede entrenarse la capacidad mixta de esfuerzos aeróbicos-anaeróbicos mediante métodos continuos de intensidad elevada y métodos fraccionados de intensidad moderada; incorporando en la medida de lo posible desplazamientos específicos.
- En el período correspondiente a la **fase de preoptimización**, el trabajo debe orientarse hacia los factores de rendimiento específicos de la modalidad deportiva. En este sentido, para esfuerzos continuos el deportista debe ser capaz de practicar métodos continuos y fraccionados de intensidad moderada y elevada. En esfuerzos intermitentes, el deportista debe ser capaz, al finalizar esta fase de ejecutar las acciones específicas de competición a la máxima intensidad para el desarrollo tanto de la fuerza explosiva como de la resistencia a la fuerza explosiva. Para estas modalidades deportivas, el trabajo se organizará a modo de circuitos, introduciendo el trabajo integrado de los factores motores, condicionales e informacionales.
- Finalmente, en el período correspondiente a la **fase de optimización**, el deportista lesionado se incorpora al grupo y a la competición. El papel del readaptador en este momento debe ser el de controlar el progreso del jugador y prevenir, conjuntamente con el equipo terapéutico, una lesión y facilitar la incorporación del deportista. El aspecto más importante a considerar en esta fase es que el deportista sea capaz de expresar durante el

mayor tiempo posible y con la máxima intensidad los esfuerzos solicitados durante el entrenamiento y la competición.

Recomendaciones para el trabajo de movilidad articular

Para un preparador físico, el restablecimiento o mejora del grado de movilidad previa a la lesión es un objetivo importante en cualquier programa de rehabilitación (Prentice, 2009). Como se ha comentado al hablar de la readaptación lesional (general y específica) del deportista lesionado, de las diferentes fases del período específico y de las orientaciones generales en relación con los contenidos a desarrollar en el proceso de readaptación fisicodeportiva y concretamente en la fase de readaptación lesional general y en la de aproximación del período de readaptación fisicodeportiva específica, el objetivo debe centrarse en el desarrollo de la salud deportiva y de la condición física saludable. Desde la perspectiva del desarrollo, la mejora y el mantenimiento de la movilidad, podemos considerar las siguientes recomendaciones (ACSM, 2000):

- Desarrollar ejercicios que impliquen toda la amplitud del movimiento articular utilizando métodos estáticos o de facilitación neuromuscular propioceptiva.
- Ejecutar los ejercicios hasta una posición de moderada tensión muscular.
- Efectuar los ejercicios con una frecuencia mínima de 2-3 días por semana.
- Mantener cada estiramiento durante 10-30 seg para estiramientos estáticos, y 6 seg de contracción, seguidos de 10-30 seg, para los estiramientos asistidos mediante facilitación neuromuscular propioceptiva.
- Realizar 3 ó 4 veces cada estiramiento.

El interés se centra en realizar propuestas metodológicas de intervención que permitan un enfoque más actual, adecuado, original y concreto en relación con la regeneración-recuperación de los tejidos lesionados y las necesidades bioenergéticas y neuromusculares de los esfuerzos durante el período de readaptación. Desde este punto de vista, Gutierrez *et al.*, (2003) proponen una clasificación metodológica atendiendo a la actividad muscular en el estiramiento (tabla 9.5) (para más detalles véase el capítulo 5).

TABLA 9.5. Principios de aplicación de los estiramientos pasivos y activos

Estiramientos pasivos

Tipo I (aplicación de una fuerza externa) Tipo III (músculos antagonistas + fuerza externa)	Llegar a la posición de estiramiento de forma lenta. Mantener 30 seg y avanzar si se nota que los tejidos ceden. Volver a la posición de forma lenta. Con 1 repetición es suficiente. Sin dolor
Tipo II (dinámicos)	No llegar a la posición límite articular. Realizar ejercicios similares a los que se van a realizar. Ser progresivos con los arcos articulares. Entre 5 y 15 repeticiones. Realizar contracción agonista-antagonista. Realizado por el sujeto. Sin dolor
<i>Hold-Relax</i>	Llegar a la posición de estiramiento de forma lenta. Pedimos contracción isométrica submáxima de 6 seg del músculo diana y resistimos en los tres componentes del movimiento. Mantener 2 seg de reposo. Avanzamos hasta la siguiente posición de forma pasiva. Realizamos un total de tres ciclos (véanse detalles en capítulo 5)
<i>Contract-Relax</i>	Llegar a la posición de estiramiento de forma lenta. Pedimos contracción isotónica submáxima de 6 seg del músculo diana y resistimos en dos de los tres componentes del movimiento. Mantener 2 seg de reposo. Recuperamos el recorrido del movimiento que se ha permitido y avanzamos hasta la siguiente posición de forma pasiva. Realizamos un total de tres ciclos (véanse detalles en capítulo 5)
<i>Contract-Relax-Antagonist-Contract</i>	Llegar a la posición de estiramiento de forma lenta. Se puede mantener la posición inicial 4 seg. Pedimos contracción isométrica submáxima de 6 seg del músculo diana y resistimos en los tres componentes del movimiento. Mantener 2 seg de reposo sin ceder el arco. Avanzamos hasta la siguiente posición de forma activa por contracción de antagonistas. Realizamos un total de dos ciclos sin pausa intermedia (véanse detalles en capítulo 5)

Estiramientos activos

Isométricos	Pasivo hasta el límite + isométrico. Llegar a la posición de estiramiento de forma lenta. No hace falta forzar la posición límite articular. Contracción isométrica submáxima de 6 seg mínimo. Sin dolor
Excéntricos	La posición de inicio lejos de la final (p. ej., mitad de la amplitud del movimiento). Llegar de forma lenta. Iniciamos con una contracción isométrica submáxima y finalizamos con una contracción excéntrica. Se llega hasta el final de la máxima amplitud del movimiento (no indispensable). Sin dolor

Adaptado de Gutiérrez M et al. Fisioterapia 2003;25:199-208.

Siguiendo esta estructuración de tipos de estiramiento, proponemos la siguiente secuenciación atendiendo al período de readaptación fisicodeportiva, a la fase de regeneración-recuperación tisular y a las exigencias fisicofuncionales de los gestos y acciones durante el proceso de reentrenamiento del esfuerzo:

- Período de readaptación lesional general y de readaptación fisicodeportiva específica. **Fase de aproximación:** pasivos I y III.

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

- Período de readaptación fisicodeportiva específica. **Fase de orientación:** pasivos II y especiales.
- Período de readaptación fisicodeportiva específica. **Fase de preoptimización y optimización:** activos isométricos y excéntricos.
- Período de readaptación fisicodeportiva específica. **Fase de control y seguimiento:** combinación de métodos.

Recomendaciones para el trabajo de propiocepción

Como se ha indicado previamente, son numerosos los estudios que han resaltado el papel de la **propiocepción** en la prevención y tratamiento de las lesiones deportivas. Después de la lesión de la articulación, la desorganización de los mecanismos mecanorreceptores inhibe la estabilización refleja neuromuscular normal de la articulación y contribuye a que se reproduzcan las lesiones, así como al deterioro progresivo de la articulación (Lephart, 2001).

La propiocepción podría considerarse el sistema sensorial que describe la elaboración consciente e inconsciente de informaciones aferentes sobre la posición, el movimiento y las fuerzas articulares por medio del SNC. Lo que conocemos generalmente como trabajo propioceptivo se debería llamar en realidad **reeducción sensoperceptivomotriz** (Lorza, 1998). Según este autor, este concepto integra tres conceptos: sensación, percepción y respuesta motriz.

El sistema propioceptivo es el encargado de percibir (receptores), de transmitir (vías) y de integrar los mensajes de origen periférico (Lorza, 1998). Una articulación normal depende del correcto funcionamiento del control neuromuscular para evitar lesiones de las partes blandas en la vida diaria y deportiva. Dicho control neuromuscular permite la regulación dinámica de las cargas que se aplican sobre una articulación, sean éstas las del peso corporal y su desplazamiento, las de la inercia, el rozamiento, el impulso de objetos, etc (Gómez Barrena, 2001).

El deportista requiere la optimización de su disponibilidad motriz y no sólo de la recuperación funcional de la articulación lesionada. Esta modalidad sensorial tiene como fin regular el movimiento de forma automática o refleja para prevenir lesiones, recaídas o agravamientos; para restaurar la función de estructuras lesionadas, o para sustituir la función de elementos capsuloligamentarios cuando no sea posible su regeneración o reparación, o

si la valoración del caso nos conduce a plantear como alternativa la intervención quirúrgica, y para enseñar a otras estructuras a compensar y sustituir funcionalmente la solución de continuidad que presentan ligamentos y cápsulas articulares (Mascaró 1999).

El trabajo propioceptivo debe ser precoz, específico, asimétrico, progresivo, indoloro, analítico y funcional (Muro y Fernández, 2003). A nivel general, los objetivos de la rehabilitación propioceptiva consisten en reentrenar las vías aferentes alteradas, lo que tiene como resultado un aumento de la sensación de movimiento articular (Lephart, 2001). De un modo particular, los **objetivos del trabajo propioceptivo** se concretan en (Muro y Fernández, 2003):

- Devolver estabilidad articular y ligamentaria a la estructura dañada evitando la aparición de una inestabilidad articular.
- Mejorar la eficacia y rapidez de respuesta neuromuscular ante diferentes agresiones.
- Conseguir un mayor control de la posición y del movimiento de la estructura afectada.
- Adquirir nuevas capacidades de respuesta ante movimientos que se asemejan al movimiento lesivo.
- Conseguir un estado funcional similar o incluso superior al estado previo a la lesión.

Los objetivos de la rehabilitación propioceptiva consisten en reentrenar las vías aferentes alteradas, lo que tiene como resultado un aumento de la sensación de movimiento articular (Lephart, 2001).

Las **fases y objetivos del trabajo propioceptivo** pueden ser:

- Fase de reentrenamiento del equilibrio: estimular los receptores propioceptivos de forma voluntaria.
- Fase de reentrenamiento de conciencia de la estabilidad articular: trabajar los aspectos anteriores en condiciones de estabilidad e inestabilidad muy controlada.
- Fase de reentrenamiento de la conciencia del movimiento articular: interiorizar patrones motores condicionados en las articulaciones en condiciones lesivas atenuadas.
- Fase de entrenamiento de la estabilidad refleja muscular: perfeccionar los patrones motores adquiridos mediante la repetición para generar respuestas

automáticas ante mecanismos lesionales.

Lorza (1998) propone una serie de **recomendaciones** para desarrollar en la práctica las habilidades propioceptivas:

- Identificar el grupo muscular diana.
- Deslocalizar la atención sobre la patología.
- Reproducción de la lesión.
- Solicitación clara (explícita o implícita).
- Para ejercer fuerza es necesario un punto de apoyo proporcional.
- La aplicación de la fuerza: lenta y progresiva (reacción estática), o rápida y súbita (reacción dinámica).
- La retirada de la resistencia: lenta y progresiva (reacción postural estática-relajación agonista), o rápida y súbita (reacción muscular rápida agonista-antagonista).
- La localización de la fuerza aplicada: muy cerca (función lado contrario-mismo lado, actividad muscular estática), o alejada (función mismo lado, reacción muscular dinámica).
- Poner al sujeto en situaciones límites.

En relación con las recomendaciones aportadas, se debe añadir la **adecuación de las tareas al gesto deportivo**, así como la inclusión de un criterio temporal para la evaluación del nivel de control de la estabilidad o movimiento articulares. A este respecto, Muro y Fernández (2003) señalan que entre los criterios a seguir para el trabajo propioceptivo se debe tener en cuenta los siguientes:

- Aprendizaje del gesto deportivo.
- Repetición del gesto deportivo.
- Progresión en dificultad.

En la figura 9.13 se muestra un ejemplo de trabajo propioceptivo sobre base estable e inestable, que puede ejecutarse con ojos abiertos o cerrados, y manteniendo una posición estática (apoyo monopodal) o mejorando la estabilidad dinámica y asimétrica corporal (p. ej., simular fases de la carrera).

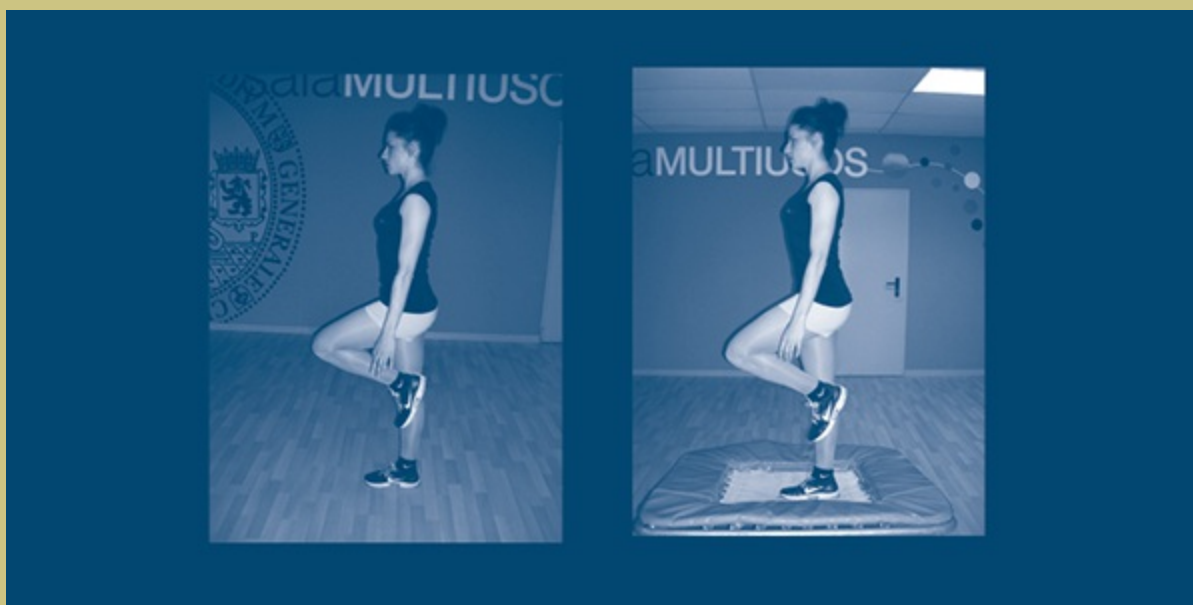


FIGURA 9.13. Ejemplo de trabajo propioceptivo sobre base estable o inestable.

Original del autor con permiso de la deportista.

La clave de la reeducación propioceptiva está en la realización de gestos que desarrollen, mejoren y optimicen los sistemas sensoriales de equilibrio, estabilidad, control de movimiento y la automatización refleja de aquéllos. Por ejemplo, en la figura 9.14 se muestra un trabajo propioceptivo sobre base inestable que puede ejecutarse con ojos abiertos o cerrados sobre una posición estática combinada con ejercicios de mejora de la estabilidad corporal en la realización de un gesto técnico.

3.5. Pautas para la ejecución correcta y segura de los ejercicios en el proceso de readaptación del deportista lesionado

El ejercicio físico adecuado como herramienta de trabajo

En cualquier ámbito de prescripción de ejercicio se requiere prestar atención, además de a los aspectos cuantitativos, a los aspectos cualitativos que determinan una forma correcta y segura de ejecución (Peiró, 1991). En el

caso de un deportista lesionado, los criterios cualitativos en la ejecución de ejercicios durante el proceso de readaptación del deportista deben ser especialmente considerados. Por tanto, los profesionales que se quieran dedicar a la readaptación de las lesiones deportivas deben centrarse no sólo en el aspecto cuantitativo de la carga de entrenamiento y del ejercicio aplicado, sino también en sus aspectos cualitativos (Peiró, 1991).



FIGURA 9.14. Ejemplo de trabajo propioceptivo sobre base inestable simulando un gesto técnico.

Original del autor con permiso de la deportista.

En el proceso de rehabilitación, el **ejercicio físico** es una de las formas más eficaces para la prevención y el reentrenamiento de las lesiones. El correcto análisis, el diseño, la aplicación y el control de los ejercicios hace posible que el deportista regrese con menor riesgo al entrenamiento y a la competición después de una lesión.

Desde una perspectiva de salud deportiva, para Peiró (1991) existen ejercicios que por la repercusión negativa que pueden producir a corto o largo plazo se denominan contraindicados, y existen otros que por discrepancias en cuanto a sus posibles repercusiones negativas se les conoce como ejercicios

polémicos.

El ejercicio físico adecuado es la herramienta más útil para el éxito del proceso de recuperación. Desde este punto de vista, el ejercicio físico para la readaptación al esfuerzo deportivo debe ser entendido como el conjunto de tareas fisicodeportivas desarrolladas de manera sistemática y organizada con la intención de mejorar los parámetros fisicomotores del gesto deportivo que capaciten al individuo para realizar las actividades deportivas con vigor y competencia, y que además respeten los criterios de funcionalidad y especificidad del tejido dañado.

Un ejercicio se considera **contraindicado** si requiere que el cuerpo en general o partes del cuerpo se muevan de manera forzada. Tales ejercicios pueden producir lesiones o no ser adecuados para la patología tratada si ejercen excesiva tensión sobre alguna o varias estructuras anatómicas y funcionales del deportista, y obviamente sobre la zona lesionada que no está preparada para ello.

Otros autores han utilizado el término de ejercicio desaconsejado para referirse a aquel movimiento entre palancas óseas que produce un daño sobre cualquier estructura anatomofuncional (López Miñarro, 2001). Existen ejercicios cuyo peligro no está en el ejercicio en sí mismo, sino en el criterio que se aplica para su elección y en la forma de llevarlos a cabo sin la supervisión ni el control adecuados.

Para valorar la repercusión de un ejercicio es necesario observar una serie de aspectos (Norris, 1996): la posición inicial, los núcleos articulares que intervienen, las acciones articulares que lo componen y las características cualitativas. Además, el conocimiento de la etiopatogenia de la lesión, de los procesos de regeneración y curación y de los plazos clínicos aproximados para el restablecimiento de las estructuras lesionadas nos permitirá adecuar de una manera más rigurosa nuestras propuestas o planes de intervención.

Los trabajos de investigación desarrollados en las décadas de 1980 y 1990 han demostrado la peligrosidad de ciertos ejercicios comúnmente ejecutados que repercuten negativamente al aumentar la probabilidad de causar una lesión a medio y/o a largo plazo o de agravar su alcance. En estos estudios se concluye que algunos de los ejercicios de acondicionamiento más utilizados, sea para el desarrollo de la fuerza muscular sea para la mejora de la movilidad, pueden ser potencialmente peligrosos para el ejecutante, siendo necesario plantear alternativas (López Miñarro, 2001). De hecho, actividades que se han considerado tradicionalmente adecuadas hoy en día están

totalmente desaconsejadas desde una concepción de actividad fisicodeportiva saludable (Tercedor, 1995).

Actualmente determinados autores comienzan a cuestionarse la utilidad de ciertos ejercicios que se presentan de forma reiterada en la práctica fisicodeportiva dirigida y autónoma, especialmente en el contenido de la condición física (López Miñarro, 2001). En este sentido, desde el punto de vista de la salud deportiva debemos elegir los más seguros de forma que nos garanticen seguridad en su aplicación y se ajusten a los requerimientos funcionales de la lesión y a las exigencias de la modalidad deportiva en cuestión.

En la mayoría de las ocasiones se podría usar ejercicios que, alcanzando el mismo objetivo, evitasen el efecto nocivo que los ejercicios desaconsejados ejercen (Peiró, 1991). Evidentemente, en el rendimiento es más difícil regular la intensidad de los esfuerzos, puesto que las necesidades y las exigencias por lo general siempre son máximas. Sin embargo, se trata de que se tome conciencia de la necesidad de analizar específicamente los ejercicios planteados en relación con las cuatro variables que debemos tener en cuenta para la prevención y/o el tratamiento de las lesiones deportivas en el contexto de la readaptación lesional (individuo, modalidad, entrenamiento y lesión).

Un error frecuente entre los profesionales es la generalización de los efectos por causas que no han sido controladas experimentalmente, las asociaciones incorrectas debido al desconocimiento de los principios del entrenamiento enfocados hacia la readaptación lesional, la insuficiente transmisión de conceptos clave en relación con la salud deportiva y la lesión, la existencia de profesionales no especialistas, la ausencia de una verdadera competencia docente que englobe la formación docente y científica en materia de readaptación fisicodeportiva, la existencia de multitud de miembros de clubes y entrenadores poco formados, la falta de propuestas de intervención caracterizadas por la incorporación del método científico como herramienta de control del propio proceso y, por último y muy importante, la divulgación de los resultados obtenidos.

Por tanto, el conjunto de recomendaciones que se establezcan para la readaptación del deportista lesionado deben estar dirigidas al diseño adecuado y la aplicación de ejercicios físicos relacionados con el repertorio de gestos deportivos propios de la modalidad y las necesidades relacionadas con la lesión, y por último, con las exigencias del entrenamiento y la competición.

Los ejercicios propuestos deben ser diseñados de manera adecuada a la fase y al ámbito de la readaptación lesional que corresponda. En muchas ocasiones se han utilizados ejercicios cuya bondad de aplicación es contradictoria con el criterio de máximo beneficio y mínimo riesgo lesional. Por ello, es necesario realizar un análisis del papel de la prescripción de ejercicio en relación con la readaptación de las lesiones deportivas.

Entre los criterios generales que podemos tener en cuenta para prescribir un ejercicio físico más seguro se encuentran los siguientes (Águila y Casimiro, 1997):

- Conocer bien las limitaciones personales y no sobrepasarlas.
- Introducirse en la actividad de forma progresiva mediante un buen calentamiento y una vuelta a la calma igualmente progresiva.
- Realizar los ejercicios con la técnica adecuada para evitar malas posturas que puedan provocar lesiones. Eliminar ejercicios contraindicados y mantener una atención especial a las articulaciones, sobre todo la columna cervical, la columna lumbar y las rodillas.
- Utilizar ropa cómoda que favorezca la transpiración y un calzado específico para la actividad.
- Asegurarnos del buen estado del material, los equipamientos y las instalaciones y del cumplimiento de las normas de seguridad.
- Mantenernos atentos y concentrados durante la ejecución de los ejercicios, sobre todo los no automatizados.
- Respetar los períodos de descanso e hidratarnos suficientemente.

En la práctica de ejercicio físico se realizan acciones articulares combinadas para la realización de gestos fisicodeportivos (desplazamientos de las cargas de trabajo de moderada o alta velocidad, acciones dinámicas sin o con poco control de la estabilidad corporal y de la posición de los puntos articulares, saltos con desequilibrio o sin él, lanzamientos de móviles, etc.) que exigen en mayor o menor grado a las estructuras articulares. Estas acciones suponen una carga de esfuerzo o estrés (por compresión, tensión, inclinación, cizallamiento, torsión y combinaciones de ellos) que producen deformación o cambio de las estructuras de los tejidos (Villarroya *et al.*, 1999).

El conocimiento de los aspectos o características biomecánicos que definen un mecanismo lesional es un aspecto relevante para una adecuada intervención por medio de la prescripción de ejercicio en el período de

readaptación. Los tejidos pueden fallar cuando se sobrepasa su capacidad de resistencia máxima mediante la aplicación de una carga única o una carga repetida (Villarroya *et al.*, 1999). Para prevenir los efectos negativos de los ejercicios se debe mejorar las propiedades de los tejidos y disminuir las cargas que tengan que soportar (tabla 9.6).

TABLA 9.6. Cargas de esfuerzo y comportamiento mecánico de los tejidos

<i>Cargas mecánicas sobre los tejidos</i>	<i>Estructura afectada</i>
Cartilagos	Soportan mal los esfuerzos de tracción
Ligamentos	Se adaptan a los esfuerzos de tracción-tensión hasta una deformación dada a partir de la cual pueden sufrir lesión. Soportan mal los movimientos de torsión
Tendones	Son solicitados desde un primer momento en una carga de tracción-tensión, pero se ven influidos también por la fuerza del músculo. Soportan mal los movimientos de torsión
Músculo	Soportan mal las cargas determinadas por contracciones y estiramientos bruscos y excesivos
Hueso	Soportan mejor las cargas de compresión, a continuación las de tensión y peor las de inclinación, torsión y cizallamiento

Adaptado de Villarroya A et al. Arch Med Dep 1999;16:173-9.

Una realización correcta debe garantizar un desarrollo equilibrado de los músculos que rodean la articulación, una congruencia de las caras articulares adecuada y una estabilidad del aparato ligamentario eficiente (Lehmann, 1996). Un buen equilibrio artromuscular. Es posible si las cargas que inciden en la articulación se distribuyen de manera uniforme. La falta de atención a estos aspectos definen dos modelos típicos de desequilibrio muscular (Dorado *et al.*, 2001; Janda, 1999): síndrome pélvico o distal cruzado y síndrome proximal o de vendaje cruzado del hombro. Estas alteraciones afectan la globalidad del cuerpo y se desarrollan principalmente entre los músculos propensos a desarrollar tensión o tonicidad (tríceps sural, isquiotibiales, aductores del muslo, recto femoral, psoasíliaco, tensor de la fascia lata, piriforme, cuadrado lumbar, erector de la columna, pectoral mayor, trapecio superior, elevador de la escápula, esternocleidomastoideo, extensores cortos profundos del cuello y flexores de las extremidades superiores) y los músculos propensos a desarrollar inhibición o musculatura fásica (tibial anterior, vastos, glúteos, abdominales, estabilizadores de la escápula, flexores profundos del cuello y extensores de las extremidades

superiores).

Si queremos intervenir de manera saludable en el período de readaptación, inicialmente debemos tener en consideración la necesidad de garantizar una estabilidad corporal global y segmentaria eficaz y eficiente, tener en consideración la influencia de la posición y el movimiento sobre las articulaciones y también prestar atención a las características de tensión-inhibición muscular de los modelos indicados anteriormente (fase de aproximación). Por ello, en este punto se analizan los aspectos básicos de estos factores.

Estabilidad corporal

La **inestabilidad corporal** en relación con la práctica física se ha asociado a la manifestación de lesiones del aparato locomotor y concretamente de la columna vertebral (McGill, 2001). La **enseñanza consciente de la estabilidad y el equilibrio** corporales en la realización de los ejercicios es un objetivo fundamental de los educadores físicos. El **control tonicopostural** del ejercicio tiene mucho que ver con una práctica segura en el sentido de que las articulaciones soportan de manera equilibrada menor esfuerzo y manifiestan máximo sostén intentando en la medida de lo posible proteger las estructuras de soporte del cuerpo contra traumatismos o deformaciones (Herrador *et al.*, 2002).

El papel que desempeña en este sentido el readaptador fisicodeportivo pasa por prestar atención a la posición inicial del ejercicio, las indicaciones adecuadas a exponer para una práctica correcta y el análisis de los riesgos que podrían presentarse tras una realización repetida contraindicada. La estrategia de intervención se centra en diseñar ejercicios de mayores eficacia y eficiencia con criterios científicos de aplicación, que generen niveles elevados de actividad muscular y niveles bajos de estrés mecánico articular en las estructuras lesionadas.



FIGURA 9.15. Ejercicio básico para trabajar el músculo transverso del abdomen.

Original del autor con permiso de la deportista.

En relación con el eje corporal (la columna vertebral) debemos destacar el papel estabilizador de los **músculos abdominales** y concretamente los músculos profundos del abdomen (Jenkins, 2003; Liemohn, 2001). El músculo transverso, a modo de corsé o cilindro rígido, cumple perfectamente con dos imperativos necesarios para dar estabilidad a la columna. Por un lado, aumenta la presión abdominal permitiendo un mejor soporte segmentario del raquis, y por otro disminuye la presión intradiscal (Kapandji, 2001). Según Liemohn (2001), uno de los métodos más eficaces para reforzar el músculo transverso, junto con los músculos oblicuos del abdomen, es la maniobra de hundir el abdomen (véase la figura 9.15). En este ejercicio básico se debe hundir la zona abdominal en el momento de la espiración sin que exista movimiento pélvico, partiendo de una posición inicial manteniendo los pies y las rodillas juntas, estas últimas en flexión. Por su parte, los músculos oblicuos, además de ayudar a la rotación de la columna y a la inclinación unilateral, ejercen una función importante de estabilizadores cuando participan de manera simultánea (McGill, 2002).

A partir de esto se puede progresar hacia otros ejercicios abdominales que activen de manera importante los músculos profundos sin repercusión o compresión indebida en la región lumbar. En la figura 9.16 se muestra un ejemplo para trabajar los músculos transversos del abdomen. La posición

*****ebook converter DEMO Watermarks*****

inicial debe mantenerse con apoyo de los antebrazos sobre la superficie inestable hundiendo la zona abdominal en el momento de la espiración. No debe existir flexión de columna a nivel de la charnela lumbosacra; si esto sucede, debemos elevar la pelvis y realizar una ligera flexión. Con el aumento de la presión intradiscal se puede llegar a producir una reducción de la fuerza de compresión ejercida sobre los discos de más de un 40% (Dorado *et al.*, 2001). En la figura 9.17 se muestra un ejemplo para trabajar los músculos oblicuos del abdomen. Inicialmente debe mantenerse una postura con los pies y las rodillas juntas, estas últimas en flexión, hundiendo la zona abdominal en el momento de la espiración. Asimismo, es aconsejable el mantenimiento de la contracción conjunta con los músculos transversos durante 3-6 seg mientras se realizan 3-4 series de 612 repeticiones. No debe realizarse una flexión excesiva de la columna ni se implicará en el ejercicio el recto del abdomen con el fin de evitar una mayor compresión lumbar.

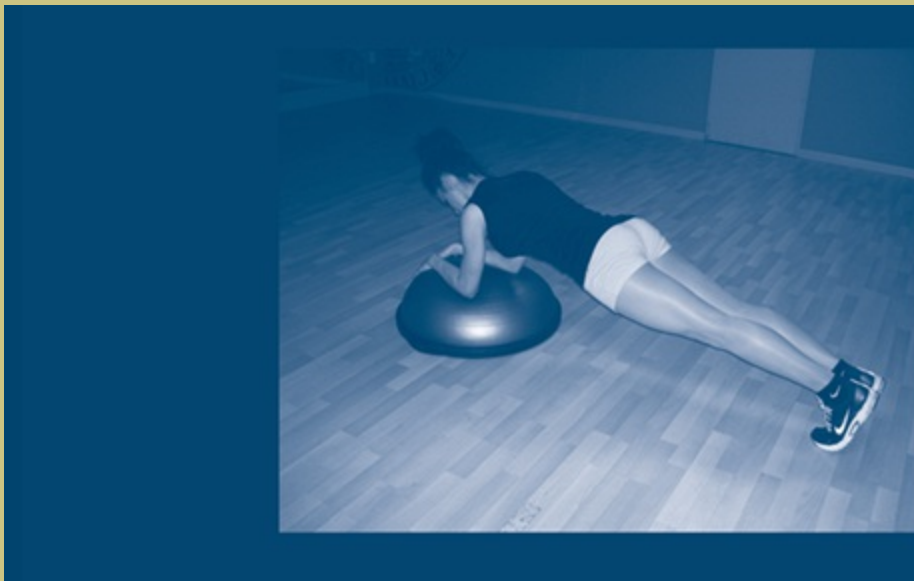


FIGURA 9.16. Ejercicio específico para trabajar los músculos transversos del abdomen.

Original del autor con permiso de la deportista.

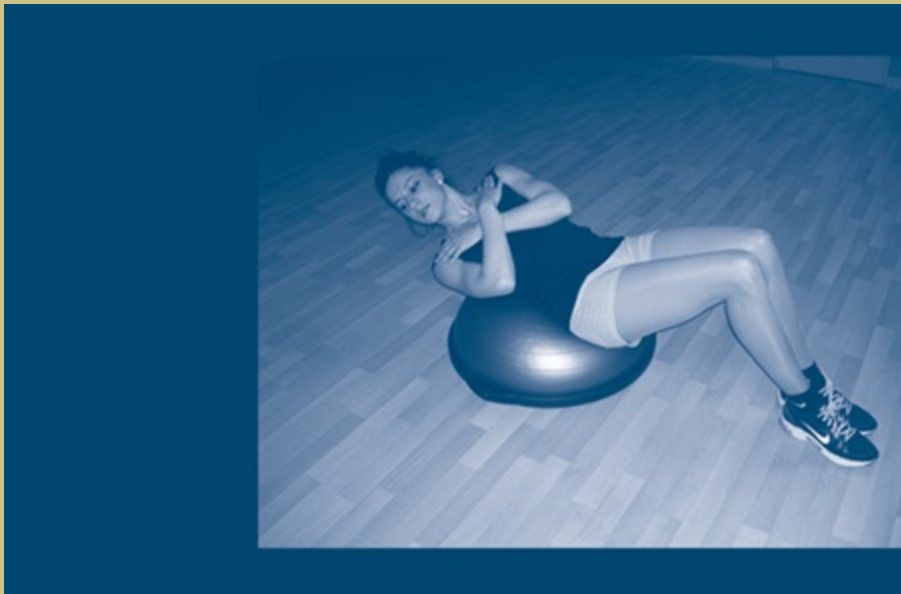


FIGURA 9.17. Ejercicio específico para trabajar los músculos oblicuos del abdomen.

Original del autor con permiso de la deportista.

El mantenimiento de la columna en posición erecta y el control tónico de los músculos abdominales deben estar presentes al realizar otras tareas, por ejemplo durante la ejecución de **ejercicios con sobrecargas** (figura 9.18). Así, al ejecutar el ejercicio jalones polea alta debe mantenerse la espalda recta. La flexión de la columna aumentaría las fuerzas de compresión discal a nivel lumbar (López Miñarro, 2001). A nivel de la cintura escapulohumeral, los codos deben mantenerse alineados con el tronco sin provocar anteversión de la cabeza humeral para no crear tensión ligamentaria. En ocasiones, en este ejercicio se aumenta la cifosis por levantar más carga o por desconocimiento de la técnica correcta (Colado, 1996). Durante el ejercicio prensa de pecho, la región lumbar debe permanecer en contacto con la superficie plana para evitar una hiperlordosis, y los codos seguirán el consejo de linealidad con el tronco. Durante el ejercicio jalones en polea baja, las rodillas deben permanecer en flexión para disminuir la tensión a nivel lumbar, y el movimiento ha de ser continuado hasta la zona abdominal sin provocar una hiperextensión de la columna.



FIGURA 9.18. Ejemplos de control tónico de los músculos abdominales en la ejecución de ejercicios con sobrecargas.

Original del autor con permiso de la deportista.

Ahora bien, centrarse única y exclusivamente en los músculos abdominales y excluir el resto de los **músculos del tronco** parece no ser una estrategia adecuada para la prevención y el tratamiento de posibles problemas de la columna (Liemohn, 2001). En consecuencia, y tras un análisis de las características individuales del sujeto, si se indica iniciar un programa de reentrenamiento de los músculos extensores del tronco, hay que considerar una serie de criterios que tienen que ver con la actividad electromiográfica eficaz de los músculos implicados (Lisón *et al.*, 1996), la velocidad y la amplitud del movimiento (Lisón y Sarti, 1998); y la posición del ejercicio a realizar (Sarti *et al.*, 1999). El ejercicio de fortalecimiento de los músculos indicados podría efectuarse en un banco romano fijo o variable como el que se muestra en la figura 9.19. En el reforzamiento de los músculos extensores de la columna en banco romano debemos mantener el apoyo sobre la región sacrolumbar. La velocidad de ejecución ha de ser de lenta a moderada y la amplitud del movimiento debe estar comprendida entre los 25° de flexión

dorsolumbar para la fase concéntrica y 15° para la fase excéntrica (Lisón y Sarti, 1998). No obstante, según han demostrado algunos autores (Carpenter y Nelson, 1998), no debemos olvidar que para una buena salud lumbar se puede alcanzar un buen reforzamiento muscular sin la necesidad de emplear un volumen grande de trabajo (una vez por semana 1 serie de 8 a 15 repeticiones). Ahora bien, es necesario un buen trabajo previo de desarrollo y mejora de la estabilidad pélvica (San Juan *et al.*, 2005).



FIGURA 9.19. Ejemplos de reforzamiento de los músculos extensores de la columna.
Original del autor con permiso de la deportista.

Posición y movimiento artromuscular

Hemos resaltado la importancia de una correcta posición y un adecuado movimiento segmentario para disminuir los riesgos de lesión sobre las estructuras. Una de estas estructuras vulnerables es la columna vertebral, que debe conciliar dos imperativos mecánicos contradictorios: rigidez y flexibilidad (Kapandji, 2001b). Por otro lado, la rodilla y el hombro, que por exigencias de las actividades desarrolladas deben conjugar dos propiedades biomecánicas: estabilidad y gran movilidad (Kapandji, 2001a; Kapandji, 2001c), también representan articulaciones de riesgo.

En la tabla 9.7 mostramos una clasificación de **acciones articulares**

desaconsejadas en relación con las estructuras con mayor riesgo de lesión (Kapandji, 2001a; Kapandji, 2001b; Kapandji, 2001c; López Miñarro, 2001; Colado, 1996).

Los trabajos de Nachemson desarrollados a principios de los años 1970 sirvieron de referencia para el análisis de la repercusión de las **posturas del cuerpo** y concretamente sobre la influencia de la flexión o extensión de rodillas en la realización de abdominales sobre las presiones intradiscuales (Liemohn, 2001). Este autor observó que con las rodillas flexionadas la compresión discal podía ser mayor si no había un control de los músculos profundos, lo cual podría precipitar un cuadro clínico de lumbalgia. Posteriormente, en un estudio exhaustivo sobre el fortalecimiento abdominal mediante la utilización de electromiografía con el objetivo de determinar la relación entre trabajo y coste en los ejercicios, se comprobó que los ejercicios abdominales (con los pies fijos, con elevación de las piernas extendidas, con elevación de las piernas cruzadas) suponían un gran esfuerzo y un coste compresivo a nivel discal que podía resultar lesivo (Axler y McGill, 1997). Por el contrario, se determinaba que los ejercicios abdominales de “puente” o realizados en una amplitud articular adecuada (estáticos o dinámicos) sobre superficies inestables (*fitBall*, bosu, *airflex* y *dinair* entre otros) eran más eficaces (Drysdale *et al.*, 2004; Hildenbrand y Noble, 2004). En la figura 9.20 se muestran ejercicios de fortalecimiento abdominal utilizados todavía en nuestros días que pueden causar daño estructural en la región lumbar. La activación de los músculos flexores de la cadera (psoasilíaco) (figura 9.20a), la elevación de las extremidades inferiores con extensión a nivel cervical (figura 9.20b) y la fijación de los pies en la realización de ejercicios abdominales (figura 9.20c) crean un gran componente de compresión discal.

TABLA 9.7. Clasificación de acciones articulares desaconsejadas en relación por las estructuras que presentan mayor riesgo de lesión

<i>Articulación</i>	<i>Acción articular desaconsejada</i>	<i>Efecto regular de su práctica sistemática</i>
Columna cervical	Hiperflexión Hiperextensión Circunducción	Daño en las estructuras
Columna dorsal	Hipercifosis mantenida	Sobrecarga dorsal, alteraciones posturales
Columna lumbar	Hiperextensión Hiperflexión	Degeneración de las estructuras vertebrales lumbares
Columna vertebral en conjunto	Flexión lateral máxima Rotación vertebral máxima	Gran estrés en los discos
Ejercicios combinados de la columna vertebral	Rotación + flexión vertebral Rotación + hiperextensión vertebral	Efectos combinados
Rodilla	Hiperflexión Hiperextensión Rotación forzada	Inestabilidad de la rodilla
Hombro	Abducción a 90° + rotación interna Flexión + aducción y rotación interna Abducción + rotación externa Flexión a 90° + rotación interna	Inestabilidad del hombro Disfunción del manguito de los rotadores, alteración estructural del rodete glenoideo

Original del autor mediante información recogida de diferentes autores.

Modelos de tensión-inhibición muscular

Para una correcta realización de los ejercicios físicos sería necesario valorar el estado de los músculos tónicos (con predominio de la tensión) o fásicos (con predominio de la inhibición). Para Dorado *et al.*, (2001), los **músculos tónicos** o posturales suelen ser biarticulares, resistentes a la fatiga, desarrollan más tensión, rigidez y acortamiento que los fásicos, y además manifiestan hipertonía y son más proclives a presentar contracturas. Los **músculos fásicos** suelen ser monoarticulares, poco resistentes a la fatiga y tienden a la hipotonía, a debilitarse e incluso a inhibirse.

Según Liemohn (2001), el síndrome cruzado proximal se caracteriza por el desarrollo de tensión en el trapecio superior, en el elevador y en el pectoral mayor, y, por otro lado, por inhibición en los flexores profundos del cuello y en los estabilizadores inferiores de la escápula. Por su parte, el síndrome cruzado distal se caracteriza por una hipertonía de los músculos flexores de la

cadera (psoasilíaco y recto anterior del cuádriceps) y del erector de la columna, e inhibición y debilidad de los músculos glúteos y abdominales. Este síndrome es particularmente importante por la repercusión que tiene en la estabilidad corporal y en la manifestación de patologías a nivel de la pelvis o de la columna vertebral.

En el inicio de la readaptación de un síndrome cruzado de la pelvis es necesario reeducar los movimientos pélvicos (figura 9.21). El trabajo muscular adecuado consistiría en la sollicitación de acciones musculares excéntricas para los músculos tónicos y el reentrenamiento de los músculos fásicos mediante acciones musculares concéntricas (Cos y Cos, 1999). En la reeducación del síndrome distal cruzado de la pelvis desempeñan un papel importante los ejercicios de movilidad consciente y activa de los músculos abdominales y glúteos (retroversores de la pelvis) y el estiramiento de los músculos anteversores (flexores de la cadera). En la posición inicial, la espalda debe permanecer recta con activación consciente de los músculos transversos del abdomen y las rodillas en ligera flexión. La coordinación del movimiento con la respiración es otro aspecto a tener en cuenta durante la ejecución. El ejercicio estará bien realizado si en el movimiento se disocia la pelvis de la columna.



FIGURA 9.20. Ejemplo de ejercicios desaconsejados para el fortalecimiento abdominal.

Original del autor con permiso de la deportista.



FIGURA 9.21. Ejemplo de reeducación de movimientos pélvicos al inicio de la readaptación de un síndrome cruzado de la pelvis.

Original del autor con permiso de la deportista.

Síntesis

- La readaptación lesional abarca dos ámbitos funcionales de actuación: la recuperación funcional deportiva, cuyo objetivo es restablecer la función normal de la zona anatómica lesionada, y la readaptación fisicodeportiva, cuyo objetivo es establecer las pautas de entrenamiento adecuadas para incorporar al deportista al ritmo habitual de trabajo y evitar las recaídas.
- La recuperación funcional deportiva corresponde al equipo medicoterapéutico utilizando técnicas y terapias clínicas. La readaptación fisicodeportiva pertenece a un área de intervención no clínica cuyo principal medio de intervención es el ejercicio físico conducente a adaptar al deportista de manera progresiva a las necesidades de la modalidad deportiva.
- Tradicionalmente ha existido una ausencia de competencias claramente

definidas durante el proceso de readaptación fisicodeportiva. Por ello, se constata la necesidad de capacitar a nuevos profesionales relacionados con la readaptación lesional del deportista.

- Es necesario que los clubes, centros deportivos, clínicas de fisioterapia y dirigentes tomen conciencia del papel que pueden desempeñar los readaptadores dentro del equipo medicoterapéutico y técnico en materia de prevención y tratamiento de las lesiones de portivas, la educación en hábitos deportivos saludables del deportista y la organización y realización especializadas de los programas de reentrenamiento para la incorporación lo antes posible del deportista al entrenamiento y a la competición.
- La readaptación fisicodeportiva debe considerar programas individualizados analizando numerosos factores como las características de la lesión, del deportista y de la modalidad deportiva.
- La readaptación fisicodeportiva debe estructurarse en fases considerando la progresión en la adaptación a las acciones motrices específicas de la modalidad deportiva: fase de aproximación al gesto deportivo, fase de orientación del gesto y la acción deportivos, fase de preoptimización del gesto y de la acción deportivos y fase de optimización del gesto y de la acción deportivos.
- En la fase de aproximación al gesto deportivo, simultáneamente al trabajo de recuperación funcional deportiva mediante terapias clínicas, debe orientarse el trabajo a las zonas libres de la lesión para mantener la condición física saludable de los tejidos no dañados, y si la evolución y características de la lesión lo permiten, aproximar los ejercicios a los patrones de la modalidad deportiva.
- En la fase de orientación, simultáneamente al trabajo de recuperación funcional deportiva mediante terapias clínicas, el trabajo debe orientarse además a incrementar el nivel de rendimiento de la región afectada.
- En la fase de preoptimización, coincidiendo con el alta médica, el deportista debe incorporarse progresivamente al entrenamiento previo a la competición característico de la modalidad deportiva.
- En la fase de optimización, el deportista debe ser incorporado progresivamente a la competición una vez verificado que no existen molestias y que el nivel de rendimiento de la zona lesionada cumple con los valores normativos previos.
- El programa de readaptación fisicodeportiva, considerando las fases

establecidas, debe centrar inicialmente sus objetivos en la recuperación de un nivel de condición física saludable, verificado cuando el deportista es capaz de realizar los entrenamientos de resistencia, fuerza y movilidad establecidos con este objetivo por distintos Organismos. Recuperado el nivel de condición física saludable, el entrenamiento debe orientarse progresivamente a los factores de rendimiento de la modalidad deportiva. El trabajo de propiocepción debe incluirse incrementando su dificultad en todas las fases de readaptación.

- Los componentes del entrenamiento del programa de readaptación se ajustarán al nivel de reserva actual del deportista, que va a depender de la gravedad de la lesión, la estructura afectada y el tiempo de baja médica.
- Ante la ausencia de evidencia científica clara que determine el efecto diferencial de distintos programas de readaptación, la progresión establecida para el desarrollo de la fuerza, la resistencia, la movilidad articular y la propiocepción en las distintas fases de la readaptación considera la coherencia de los principios básicos del entrenamiento y los criterios de seguridad, debiéndose adaptar a cada modalidad deportiva y situación patológica.

Cuestionario de asimilación

1. Establece las diferencias y semejanzas entre la recuperación funcional y la readaptación fisicodeportiva.
2. Relaciona los distintos profesionales con su función durante la recuperación funcional deportiva y la readaptación fisicodeportiva.
3. Describe el principal objetivo de la readaptación fisicodeportiva.
4. Establece las distintas fases de la readaptación fisicodeportiva y define sus objetivos.
5. Justifica por qué es importante el entrenamiento de los tejidos no dañados en las primeras fases de la readaptación deportiva.
6. Establece los dos principales objetivos generales que debe considerar la readaptación fisicodeportiva.
7. Indica qué criterios utilizarás para considerar que un deportista

lesionado tiene los niveles suficientes de condición física saludable.

8. Justifica sobre qué criterios debe basarse la progresión del entrenamiento durante la readaptación fisicodeportiva.
9. Indica qué función tiene un readaptador fisicodeportivo cuando el deportista lesionado se ha incorporado a la competición.
10. Elabora un programa de readaptación fisicodeportiva para un jugador de baloncesto.
11. Establece un programa de readaptación fisicodeportiva para un corredor de 5.000 m.
12. Diseña un programa de readaptación fisicodeportiva para un corredor de 400 m.
13. Establece un programa de readaptación fisicodeportiva para un gimnasta.

Bibliografía

- Aaltonen S, Karjalainen H, Heinonen A *et al.* Prevention of sports injuries: Systematic review of randomized controlled trials. *Arch Intern Med* 2007;167:1585-92.
- ACSM. Position Stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364-80.
- ACSM. *Manual de consulta para el control y la prescripción de ejercicio*. Paidotribo, 2000.
- ACSM. *Manual para la valoración y la prescripción del ejercicio*. Paidotribo, 1999.
- Agel J, Ransone J, Dick R *et al.* Descriptive epidemiology of collegiate men's wrestling injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train* 2007;42:303-10.
- Aguila C, Casimiro A. Bases metodológicas para el correcto diseño de programas de ejercicio físico para la salud. *Revista de Educación Física* 1997;67:11-14.
- Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P *et al.* Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med* 1998;26:360-6.
- Alter MJ. *Science of flexibility*. Human Kinetics, 2004.
- Anderson K, Behm DG. The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Med* 2005;35:43-53.
- Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A *et al.* Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med* 2004;32(1 Suppl):5S-16S.
- Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:244-50.
- Axler CT, McGill SM. Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:804-10.
- Bahr R. Principles of injury prevention. En: Brukner P, Khan K. *Clinical Sports Medicine*. McGraw Hill, 2007:78-101.
- Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med* 2005;39:324-9.

- Ben W. *Functional rehabilitation of sports and musculoskeletal injuries*. An Aspen publication, 1998. Bixler, B., Jones RL. High-school football injuries: Effects of a post-halftime warm-up and stretching routine. *Fam Pract Res J* 1992;12:131-9.
- Boscagli G, Bernard J, Aillaud J. Les fractures de fatigue du col fémoral. Étude rétrospective de 12 cas. *J Radiol* 1985;66:433-40.
- Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T. Physical activity, fitness, and health: the model and key concepts. En: Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T. *Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement*. Human Kinetics, 1994.
- Brickeer J, Fry MD. The influence of injured athletes' perceptions of social support from ATCs on their beliefs about rehabilitation. *J Sport Rehabil* 2006;15:156-67.
- Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:379-87.
- Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:783-90.
- Brooks JH, Fuller CW. The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: Illustrative examples. *Sports Med* 2006;36:459-72.
- Brughelli M, Cronin J. Altering the length-tension relationship with eccentric exercise: implications for performance and injury. *Sports Med* 2007;37:807-26.
- Buceta JM. *Psicología del entrenamiento deportivo*. Dykinson, 1998.
- Burns J, Keenan AM, Redmond AC. Factors associated with triathlon-related overuse injuries. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;33:177-84.
- Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: Theoretical and applied implications. *Sports Med* 2004;34:49-69.
- Cabral de Oliveira AC, Pérez AC. Dolor muscular tardío. Un análisis del proceso inicial de la lesión. *Arch Med Dep* 2001;18:297-303.
- Caraffa A, Cerulli G, Proietti M et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4:19-21.
- Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?. *Br J Sports Med* 2005;39:585-9.
- Carpenter DM, Nelson BW. Low back strengthening for the prevention and treatment of low back pain. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:18-24.
- Colado JC. *Fitness en salas de musculación*. INDE, 1996.
- Commandre FA, Fourre J, Davarend JP et al. Reeducation et rehabilitation des lesions de L'appareil Locomoteur de l'athlete. *Cinésiologie* 1996;165:6-23.
- Conn JM, Annest JL, Gilchrist J. Sports and recreation related injury episodes in the US population, 1997-99. *Inj Prev* 2003;9:117-23.
- Cos MA, Cos F. Interpretación de las alteraciones del sistema musculoesquelético. Beneficios del trabajo excéntrico y concéntrico. Efectos de la inactividad y de la inmovilización en el músculo. *Arch Med Dep* 1999;16:633-8.
- Cos MA, Cos A. Medidas fisioterápicas de recuperación del deportista tras el esfuerzo físico. *RED* 1992;6(3):2-10.
- Cowan MA. Simultaneous bilateral rupture of Achilles tendons due to triamcinolone. *BMJ* 1966;1(5240):1658.
- Clement DB, Taunton JE, Smart GW. Achilles tendinitis and peritendinitis: Etiology and treatment. *Am J Sports Med* 1984;12:179-84.
- Croisier JL. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med* 2004;34:681-95.
- Dansecu ER, Miller TR, Spicer RS. Incidence and costs of 1987-1994 childhood injuries: demographic breakdowns. *Pediatrics* 2000;105:E27.

- Dib MY, Smith J, Bernhardt KA *et al.* Effect of environmental temperature on shock absorption properties of running shoes. *Clin J Sport Med* 2005;15:172-6.
- Dick R, Sauers EL, Agel J *et al.* Descriptive epidemiology of collegiate men's baseball injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train* 2007a;42(2):183-93.
- Dick R, Hertel J, Agel J *et al.* Descriptive epidemiology of collegiate men's basketball injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train* 2007b;42:194-201.
- Dorado C, Dorado N, Sanchís J. *Abdominales: para un trabajo muscular abdominal más seguro y eficaz*. Paidotribo, 2001.
- Drinkwater B. Training of female. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K. *The Olympic Book of Sports Medicine*. Blackwell Scientific Publications, 1988:309-27.
- Drysdale CL, Earl JE, Hertel J. Surface electromyographic activity of the abdominal muscles during pelvic-tilt and abdominal-hollowing exercises. *J Athl Train* 2004;39:32-6.
- Ebenbichler GR, Oddsson LI, Kollmitzer J *et al.* Sensorymotor control of the lower back: implications for rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1889-98.
- Einsingbach T, Klümpler A, Biedermann L. *Fisioterapia y rehabilitación en el deporte*. Ediciones Scriba, 1994.
- Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am J Sports Med* 1983;11:116-20.
- Esparza E. *Lesiones y recuperación funcional del deportista. Regreso a la actividad deportiva: reentrenamiento al esfuerzo*. 3ª Jornadas sobre Medicina Deportiva. Junta de Andalucía 1994.
- Finch CF. A new framework for research leading to sports injury prevention. *J Sci Med Sport* 2006;9:3-9.
- Finch CF. An overview of some definitional issues for sports injury surveillance. *Sports Med* 1997;24:157-63.
- Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physiol* 2000;89:1979-88.
- Fradkin AJ, Gabbed BJ, Cameron PA. Does warming-up prevent injury in sport? The evidence from randomised controlled trials. *J Sci Med Sport* 2006;9:214-20.
- Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br* 1965;47:669-77.
- Fu AS, Hui-Chan CW. Ankle joint proprioception and postural control in basketball players with bilateral ankle sprains. *Am J Sports Med* 2005;33:1174-82.
- Fuller CW, Molloy MG, Bagate C *et al.* Consensus statement on injury definition and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *Clin J Sport Med* 2007a;17:177-81.
- Fuller CW, Dick RW, Corlette J *et al.* Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 1: match injuries. *Br J Sports Med* 2007b;41 Suppl 1:i20-6.
- Fuller CW, Dick RW, Corlette J *et al.* Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2: training injuries. *Br J Sports Med* 2007c;41 Suppl 1:i27-32.
- Gal. C. *La pubalgia: prevención y tratamiento*. Paidotribo, 2001.
- Garrett WE. Muscle strain injuries: Clinical and basic aspects. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:436-43.
- Gent RN, Siem D, van Middelkoop M *et al.* Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med* 2007;41:469-80.

- Gilchrist RV, Frey ME, Nadler SF. Muscular control of the lumbar spine. *Pain Physician* 2003;6:361-8.
- Gissane C, Jennings D, Kerr K *et al.* Injury rates in rugby league football: impact of change in playing season. *Am J Sports Med* 2003;31:954-8.
- Gómez E, Martínez E, Munuera L *et al.* Propiocepción articular y muscular. En: Ballesteros R. *Traumatología y medicina deportiva: bases de la medicina del deporte*. Paraninfo, 2001.
- Gosheger G, Liem D, Ludwig K *et al.* Injuries and overuse syndromes in golf. *Am J Sports Med* 2003;31:438-43.
- Griffin LY. Neuromuscular training and injury prevention in sports. *Clin Ortho Res* 2003;409:53-60.
- Gutiérrez M, Novoa B, Pérez MR *et al.* Propuesta de clasificación de las técnicas de estiramiento en fisioterapia. *Fisioterapia* 2003;25:199-208.
- Handoll HH, Rowe BH, Quinn KM *et al.* Interventions for preventing ankle ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev* 2001;3:CD000018.
- Haskell WL, Lee IM, Pate RR *et al.* Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1423-34.
- Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: Systematic review. *BMJ* 2002;325:468-70.
- Herrador JA, Latorre PA, Zagalaz ML. La postura: consideraciones preventivas, higiénicas y educativas. *Revista de Educación Física* 2002;87:11-8.
- Herring SA, Nilson KL. Introduction to overuse Injuries. *Clin Sports Med* 1987;6:225-39.
- Hides JA, Richardson Ca, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine* 1996;21:2763-9.
- Hildenbrand K, Noble L. Abdominal muscle activity while performing trunk-flexion exercises using the Ab Roller, ABslide, FitBall, and conventionally performed trunk curls. *J Athl Train* 2004;39:37-43.
- Hodges PW Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin N Am* 2003;34:245-54.
- Hogson L, Gissane C, Gabbett TJ *et al.* For debate: consensus injury definition in team sports should focus on encompassing all injuries. *Clin J Sport Med* 2007;17:188-91.
- Hoksrud A, Ohberg L, Alfredson H *et al.* Ultrasound-guided sclerosis of neovessels in painful chronic patellar tendinopathy: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2006;34:1738-46.
- Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 2007;42:311-9.
- Howell SM, Knox KE, Farley TE *et al.* Revascularization of human anterior cruciate ligament graft during the first two years of implantation. *Am J Sports Med* 1995;23:42-9.
- Hrysomallis C. (2007). Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Med* 2007;37:547-56.
- Hubley-Kozey CL, Vezina MJ. Muscle activation during exercises to improve trunk stability in men with low back pain. *Arch Phys Med Rehab* 2002a;83:1100-8.
- Hubley-Kozey CL, Vezina MJ. Differentiating temporal electromyographic waveforms between those with chronic low back pain and healthy controls. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2002b;17:621-9.
- Hughes G, Watkins J. A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sport Med* 2006;36:411-28.
- Hurme T, Rantanen J, Kallimo H. Effects of early cryotherapy in experimental skeletal muscle injury. *Scand Med Sci Sport* 1993;3:46-51.
- Janda V. Evaluación del desequilibrio muscular. En: Liebensohn C. *Manual de rehabilitación*

- de la columna vertebral*. Paidotribo, 1999.
- Jones G, Asghar A, Llewellyn DJ. The epidemiology of rock climbing injuries. *Br J Sports Med* 2008;42:773-8.
- Juker D, McGill S. Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:301-10.
- Junge A, Dvorak J. Injuries in female football players in top-level international tournaments. *Br J Sports Med* 2007;41 Suppl 1:i3-7.
- Junge A, Rösch D, Peterson L *et al*. Prevention on soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *Am J Sports Med* 2002;30:652-9.
- Junge A, Dvorak J. Influence of definition and data collection on the incidence of injuries in football. *Am J Sports Med* 2000;28:S40-S46.
- Kapandji AI. *Fisiología articular (1): Miembro superior*. Panamericana, 2001a.
- Kapandji AI. *Fisiología articular (2): Miembro inferior*. Panamericana, 2001b.
- Kapandji AI. *Fisiología articular (3): tronco y raquis*. Madrid, Panamericana, 2001c.
- Karlsson J, Andreasson GO. The effect of external ankle support in chronic lateral ankle joint instability: An electromyographic study. *Am J Sports Med* 1992;20:257-61.
- Kibler WBJ. The role of core stability in athletic function. *Sports Med* 2006;36:189-98.
- Krivickas LS. Anatomical factors associated with overuse sports injuries. *Sports Med* 1997;24:132-46.
- Kujala UM, Orava S, Jarvinen M. Hamstring injuries: current trends in treatment and prevention. *Sports Med* 1997;23:397-404.
- LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD *et al*. Eccentric muscle contractions: Their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;33:557-71.
- Leetun, DT, Ireland ML. Core Stability Measures as Risk Factors for Lower Extremity Injury in Athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:926-34.
- Lehmann F. La importancia del equilibrio artromuscular. *RED* 1996;10(1):10-14.
- Lephart S. Restablecimiento de la propiocepción, la cinestesia, el sentido de la posición de las articulaciones y el control neuromuscular en la rehabilitación. En: Prentice WE. *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva*. Paidotribo, 2001.
- Lephart SM, Pincevero DM, Rozzi S. Proprioception of the ankle and Knee. *Sports Med* 1998;25:149-55.
- Liemohn W. *Prescripción de ejercicio físico para la espalda*. Paidotribo, 2001.
- Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci* 2001;16:256-61.
- Lipscomb RR. Chronic non-specific tenosynovitis and peritendonitis. *Surg Clin North Amer* 1944;24:780-4.
- Lisón JF, Sarti MA. Velocidad y rango de movimiento en el fortalecimiento de músculos posturales. Estudio preliminar. *Arch Med Dep* 1998;15:291-8.
- Lisón JF, Monfort M, Sarti MA. Estudio de tres ejercicios para el fortalecimiento de la musculatura lumbar. *Arch Med Dep* 1996;13:427-32.
- López Miñarro PA. *Ejercicios desaconsejados en la actividad física. Detección y alternativas*. INDE, 2001.
- Lorza G. La reeducación propioceptiva en la prevención y tratamiento de las lesiones en el baloncesto. *Arch Med Dep* 1998;15:517-21.
- Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med* 2005;35:23-41.
- Lysens R, Van den Auweele Y, Ostyn M. The relationship between psychosocial factors and sports injuries. *J Sports Med Phys Fitness* 1986;26:77-84.
- Lloret M. *1020 ejercicios y actividades de readaptación motriz*. Paidotribo, 1990.

- Maffulli N, Wong J, Almekinders LC. Types and Epidemiology of tendinopathy. *Clin Sports Med* 2003;22:675-92.
- Magnusson SP, Aagaard P, Larsson B *et al.* Passive energy absorption by human muscle-tendon unit is unaffected by increase in intramuscular temperature. *J Appl Physiol* 2000;88:1215-30.
- Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS *et al.* Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 2005;33:1003-10.
- Marshall SW, Covassin T, Dick R *et al.* Descriptive epidemiology of collegiate women's gymnastics injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train* 2007;42(2):234-40.
- Mascaró A. Aportaciones de la propiocepción a las inestabilidades articulares de las extremidades en el medio deportivo. *Arch Med Dep* 1999;16:621-6.
- McGill SM. *Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation.* Human Kinetics, 2002.
- McGill SM. Low back stability: from formal description to issues for permenance and rehabilitation. *Exer Sports Sci Rev* 2001;29:26-31.
- McHugh MP, Connolly DAJ, Eston RG *et al.* The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am J Sports Med* 1999;27:594-9.
- McKean KA, Manson NA, Stanish WD. Musculoskeletal injury in the masters runners. *Clin J Sport Med* 2006;16:149-54.
- McKenzie DC, Clement DB, Taunton JE. Running shoes, orthotics, and injuries. *Sports Med* 1985;2:334-47. Meewisse WH. Predictability of sports injuries. What is the epidemiological evidence? *Sports Med* 1991;12:815.
- Morgan DL, & Proske U. Sarcomere popping requires stretch over a range where total tension decreases with length. *J Physiol* 2006;574:627-8.
- Morgan DL, Proske U. Popping sarcomere hypothesis explains stretch-induced muscle damage. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2004;31:541-5.
- Mueller FO, Blyth CS. North Carolina high school football injury study: equipment and prevention. *J Sports Med* 1974;2:1-10.
- Mula FJ. *La rehabilitación del deportista: orientación hacia la reeducación funcional.* 2ª Jornadas sobre prevención y la recuperación precoz de la lesión deportiva. Junta de Andalucía, 1996.
- Muro J, Fernández de las Peñas C. Técnicas fisioterápicas aplicadas en el tratamiento de la patología de la rodilla: propiocepción. En: Basas A, Fernández de las Peñas C, Martín JA. *Tratamiento fisioterápico de la rodilla.* McGraw-Hill, 2003.
- Nicholas SJ, Tyler TF. Adductor muscle strains in sport. *Sports Med* 2002;32:339-44.
- Norris CM. Abdominal muscle training in sport. *Br J Sports Med* 1993;27:19-27.
- Öhberg L, Lorentzon R, Alfredson H. Eccentric training and patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up. *Br J Sports Med* 2004;38:8-11.
- Olivé R. *Patología en medicina deportiva.* Laboratorios Menarini SA, 2000.
- Olsen O, Myklebust G, Engebretsen L *et al.* Exercise to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *Br J Sports Med* 2005;33:371-8.
- Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L *et al.* Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:299-304.
- O'Sullivan PB, Phyt DG. Evaluation of Specific Stabilizing Exercise in the Treatment of Chronic Low Back Pain With Radiologic Diagnosis of Spondylolysis or Spondylolisthesis. *Spine* 1997;22:2959-67.
- Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*

2003;13:371-9.

- Parkkari J, Kujala UM, Kannus P. Is it possible to prevent sports injuries? review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Med* 2001;31:985-95.
- Peate WF, Bates G, Lunda K *et al.* Core strength. a new model for injury prediction and prevention. *J Occup Med Toxicol* 2007;11;2:3.
- Peiró C. Educación física y salud: realización correcta y segura de los ejercicios físicos. *Perspectivas* 1991;8:14-17.
- Pfeiffer RP, Magnus BC. *Las lesiones deportivas*. Paidotribo, 2001.
- Prentice WE. *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva*. Paidotribo, 2009.
- Prentice WE. *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva*. Paidotribo, 2001.
- Proske U, Morgan DL, Brockett CL *et al.* Identifying athletes at risk of hamstring strains and how to protect them. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2004;31:546-50.
- Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 2001;537:333-45.
- Purdam CR, Johnsson P, Alfredson H *et al.* A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Br J Sports Med* 2004;38:395-7.
- Rarick GL, Bigley G, Karst R *et al.* (1962). The measurable support of the ankle joint by conventional methods of taping. *J Bone Joint Surg Am* 1962;44:1183-90.
- Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train* 2002a;37:71-9.
- Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train* 2002b;37:80-4.
- Rodríguez FA. Prescripción del ejercicio físico para la salud (I). Resistencia cardiorrespiratoria. *Apunts* 1995;39:87-102.
- Roig M, O'Brien K, Kirk G *et al.* The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analyses. *Br J Sports Med* 2009;43:556-68.
- Roig M, Ranson C. Eccentric muscle actions: Implications for injury prevention and rehabilitation. *Phys Ther Sport* 2007;8:88-7.
- Saal JA. Dynamic muscular stabilization in the nonoperative treatment of lumbar pain syndromes. *Orthop Rev* 1990;19:691-700.
- Safran MR, Seaber AV, Garrett WE Jr. Warm-up and muscular injury prevention: an update. *Sports Med* 1989;8:239-49.
- Safran MR, Garrett WE, Seaber AV *et al.* The role of warmup in muscular injury prevention. *Am J Sports Med* 1988;16:123-9.
- Sallis R, Chassay CM. Recognizing and treating common cold-induced injury in outdoor sports. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1367-73.
- San Juan JG, Yaggie JA, Levy SS *et al.* Effects of pelvic stabilization on lumbar muscle activity during dynamic exercise. *J Strength Cond Res* 2005;19:903-7.
- Sapsford RR, Hodges PW, Richardson CA *et al.* Co-activation of the abdominal and pelvic floor muscles during voluntary exercises. *Neurol Urodyn* 2001;20:31-42.
- Sarti MA, Bosch AH, Vera FJ *et al.* Selección de una postura para el fortalecimiento de la musculatura paravertebral lumbar. *Arch Med Dep* 1999;16:427-34.
- Satterthwaite P, Norton R, Larmer P *et al.* Risk factors for injuries and other health problems sustained in a marathon. *Br J Sports Med* 1999;33:22-6.
- Seirul-lo, F. Entrenamiento coadyuvante. *Apunts* 1986;23:3941.
- Shapiro MS, Kabo JM, Mitchell PW *et al.* Ankle sprain prophylaxis: An analysis of the stabilizing effects of braces and tape. *Am J Sports Med* 1994;22:78-82.
- Shehab R, Mirabelli M, Gorenflo D *et al.* Pre-exercise stretching and sports related injuries: Knowledge, attitudes and practices. *Clin J Sports Med* 2006;228:31-9.

- Shephard RJ. Towards an evidence based prevention of sports injuries. *Inj Prev* 2005;11:65-6.
- Sherry MA, Best TM. A comparison of 2 rehabilitations programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004;34:116-25.
- Shrier I. Stretching before exercise: An evidence based approach. *Br J Sports Med* 2000;34:324-5.
- Silla D. Reinserción del deportista al terreno de juego tras una lesión ligamentosa. *RED* 1989;3(4):27-30.
- Soage S. *Fisioterapia en las lesiones óseas y articulares. Actualizaciones en fisioterapia del deporte*. UDC, 1998.
- Söderman K, Werner S, Pietilä T et al. Balance board training: Prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Scand J Med Sci Sports* 2000;8:356-63.
- Steffen K, Myklebust G, Andersen TE et al. Self-reported injury history and lower limb function as risk factors for injuries in female youth soccer. *Am J Sports Med* 2008;36:700-8.
- Steffen K, Andersen TH, Bahr R. Risk of injuries on artificial turf and natural grass in young female football players. *Br J Sports Med* 2007;41 Suppl 1:i33-7.
- Strickler T, Malone T, Garrett WE. The effects of passive warming on muscle injury. *Am J Sports Med* 1990;18:141-5.
- Subotnick SI. *Sports medicine of lower extremity*. Churchill Livingstone, 1989.
- Taimela S, Kankaanpää M, Luoto S. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position: A controlled Study. *Spine* 1999;24:1322-34.
- Taimela S, Kujala UM, Osterman K. Intrinsic risk factors and athletic injuries. *Sports Med* 1990;9:205-15.
- Taimela S, Kujala UM, Österman K. *Individual characteristics are related to musculoskeletal injuries*. Paavo Nurmi Congress, Turku, 1989.
- Tarragó JR, Cos F, Gordillo A et al. Readaptación física de la lesión musculotendinosa. En: Balias R. *Patología muscular en el deporte: diagnóstico, tratamiento y recuperación funcional*. Masson, 2004.
- Tercedor P. *Higiene postural. Educación de la postura y prevención de las anomalías en el contexto escolar*. Habilidad Motriz, 1995;6:44-9.
- Thacker SB, Gilchrist J, Stroup DF et al. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:371-8.
- Thacker SB, Stroup DF, Branche et al. Prevention of knee injuries in sports: a systematic review of the literature. *J Sports Med Phys Fitness* 2003;43:165-79.
- Thampatty BP, Im HJ, Wang JH. Leukotriene B4 at low dosage negates the catabolic effect of prostaglandin E2 in human patellar tendon fibroblasts. *Gene* 2006;372:103-9.
- Thelen DG, Chumanov ES, Sherry MA et al. Neuromusculoskeletal models provide insights into the mechanisms and rehabilitation of hamstring strains. *Exerc Sport Sci Rev* 2006;34:135-41.
- Tous J. Nuevas tendencias en fuerza y musculación. *Byomedic* 1999.
- van der Linder PD, Sturkenboom MCJM, Herings RMC et al. Fluroquinolones and risk of Achilles tendon disorders: case-control study. *BMJ* 2002;324:1306-7.
- van Dieën, JH, Cholewicki J, Radebold A. Trunk muscle recruitment patterns in patients with low back pain enhance the stability of the lumbar spine. *Spine* 2003;28:834-41.
- van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M et al. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *Br J Sports Med* 2007;41:469-80.
- van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. *Sports Med* 1992;14:82-99.

- Van Tiggelen D, Wickes S, Stevens V *et al.* Effective prevention of sports injuries: A model integrating efficacy, efficiency, compliance and risk-taking behaviour. *Br J Sports Med* 2008;42:648-52.
- Verhagen EA, van Mechelen W, de Vente W. The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains. *Clin J Sports Med* 2000;10:291-6.
- Villarroya A, Nerín S, Marín M *et al.* Cargas excesivas y mecanismos de lesión deportiva. *Arch Med Dep* 1999;16:173-9.
- Walter SD, Hart LE, McIntosh JM *et al.* The ontario cohort study of running-related injuries. *Arch Int Med* 1989;149:2561-4.
- Wedderkopp N, Kaltoft M, Lundgaard B *et al.* Prevention of injuries in young female players in european team handball. A prospective intervention study. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9:41-7.
- Wilder RP, Sethi S. Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clin Sports Med* 2004;23:55-81, vi.
- Williams PE, Goldspink G. Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilised muscle. *J Anat* 1978;127:459-68.
- Witvrouw E, Mahieu N, Roosen P *et al.* The role of stretching in tendon injuries. *Br J Sports Med* 2007;41:224-6.
- Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L *et al.* Stretching and injury prevention: An obscure relationship. *Sports Med* 2004;34:443-9.
- Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med* 2007;37:1089-99.
- Woods C, Hawkins RD, Maltby S *et al.* The football association medical research programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med* 2004;38:36-41.
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP *et al.* Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med* 2007;35:1123-30.



MANUAL DE **ENTRENAMIENTO** DEPORTIVO

Manual de entrenamiento deportivo ofrece una aproximación novedosa al estudio del proceso de entrenamiento.

En esta obra el lector encontrará una herramienta indispensable para establecer un proceso de entrenamiento que se adapte a cualquier deportista y modalidad deportiva. También se describen las principales lesiones junto con las nociones básicas de sus síntomas, diagnóstico y tratamiento, los medios de prevención y las principales directrices para el proceso de readaptación.

- Cómo incidir específicamente en las distintas fases del proceso de supercompensación y en los factores de rendimiento específicos.
- Cómo optimizar los factores generales que determinan el rendimiento en competición.
- Cómo integrar todo el proceso de entrenamiento en una temporada.

Alejandro Legaz-Arrese es doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Desarrolla su actividad profesional como profesor titular de la Universidad de Zaragoza e investigador principal del grupo "Movimiento Humano". Ha ejercido de entrenador-preparador físico de carreras de atletismo, BMX y fútbol sala.

ISBN: 978-84-9910-160-6



9 788499 101606

www.paidotribo.com

