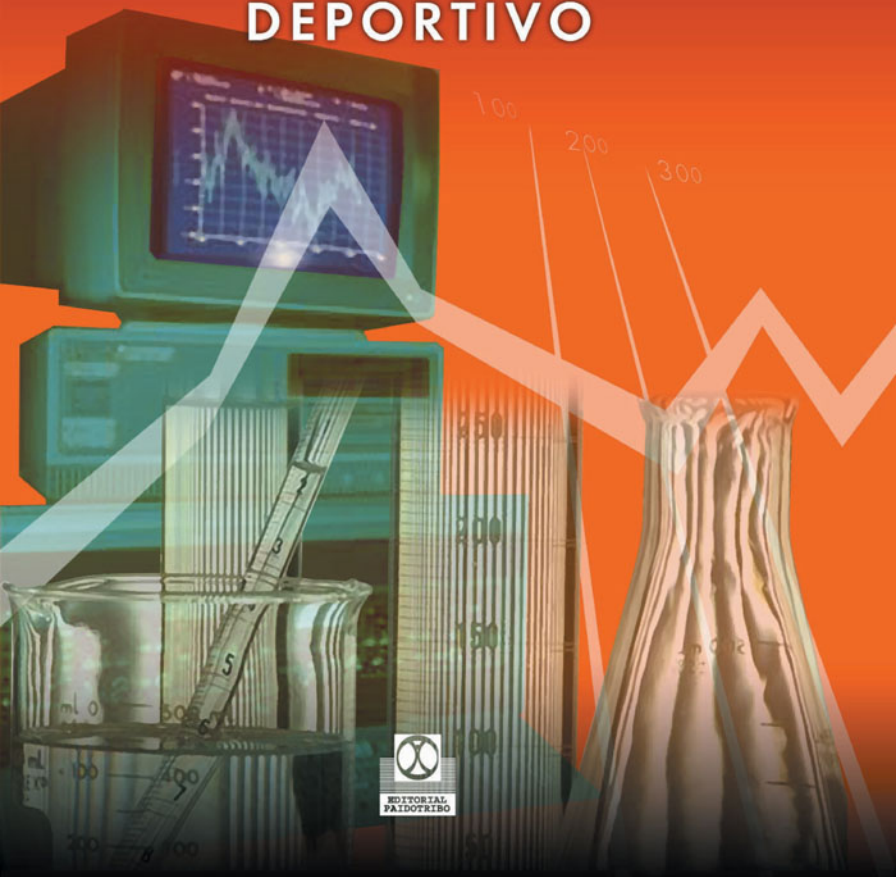


Atko Viru · Mehis Viru

ANÁLISIS Y CONTROL DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO



EDITORIAL
PAIDOTRIBO

Análisis y control del rendimiento deportivo

Atko Viru

Universidad de Tartu, Estonia

Mehis Viru

Universidad de Tartu, Estonia



Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Copyright © 2001, Human Kinetics Publishers, Inc.

Título original: *Biochemical monitoring of sport training*

Traducción: Marta Moreno

Revisión técnica: Manuel Pombo

Diseño de cubierta: Carlos Páramos

© 2003, Dr. Atko Viru

Dr. Mehis Viru

Editorial Paidotribo

Consejo de Ciento, 245 bis, 1,º 1ª

08011 Barcelona

Tel.: 93 323 33 11– Fax: 93 453 50 33

E-mail: paidotribo@paidotribo.com

<http://www.paidotribo.com>

Primera edición:

ISBN: 84-8019-718-8

Fotocomposición: Editor Service, S.L.

Diagonal, 299 – 08013 Barcelona

Impreso en España por A & M Gràfic

Dedicado a los deportistas que desean convertirse en un *Homo olympicus*
y a los entrenadores y científicos que acompañan a los deportistas
en su camino hacia unos mejores resultados

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Aino Luik, Kaire Paat y Eve Luik por su valioso asesoramiento técnico. El libro ha sido respaldado por la Academia Estonia de Ciencias y avalado por la Fundación Estonia de Ciencias (3897, 3962, 4461). Asimismo desean expresar su gratitud a los profesores Manfred Lehmann y Antonio Hockney por sus críticas constructivas y sus inestimables sugerencias.

Esta página dejada en blanco al propósito.

Sobre los autores

Atko-Meeme Viru, Doctor en Medicina, Diplomado en Ciencias es profesor honorario especializado en fisiología del ejercicio en la Universidad de Tartu, en Estonia. Sus investigaciones examinan los problemas fundamentales y las cuestiones aplicadas relativas a los fundamentos del control del entrenamiento. Estudió medicina en la Universidad de Tartu en Estonia y se diplomó en ciencias en la Academia de Ciencias de Estonia.

Mehis Viru, Doctor en Medicina. Es investigador, jefe del Laboratorio de Fisiología del Deporte y catedrático

de los estudios de entrenamiento en la Universidad de Tartu, en Estonia. Sus principales áreas de investigación cubren el control del entrenamiento, el sobreentrenamiento y la adaptación metabólica y hormonal al ejercicio y el entrenamiento. El Dr. Viru ha pasado 15 años controlando el entrenamiento de los deportistas de elite de Estonia en diferentes disciplinas deportivas. Asimismo, ha estudiado y trabajado durante cuatro años en el Karolinska Institute de Estocolmo, uno de los institutos médicos más importantes del mundo. El Dr. Viru obtuvo su licenciatura en medicina en la Universidad de Tartu, en Estonia.

Esta página dejada en blanco al propósito.

Índice

Prefacio ix
Créditos xiii

Parte I

Objetivo del control bioquímico del entrenamiento 1

Capítulo 1 Introducción: necesidad y oportunidad 3

Datos históricos 3

Principios y diseño del control del entrenamiento 5

Resumen 10

Capítulo 2 Adaptación metabólica en el entrenamiento 11

Función de la adaptación celular en los cambios inducidos por el entrenamiento 11

Síntesis adaptativa de proteínas 13

Control metabólico 18

Adaptación aguda y a largo plazo 20

Mejora del control metabólico 24

Resumen 25

Parte II

Métodos para el control bioquímico del entrenamiento 27

Capítulo 3 Metabolitos y sustratos 29

Biopsia muscular 29

Metabolitos de la sangre 34

Sustratos oxidativos de la sangre 50

Microdiálisis 56

Consideraciones generales 56

Resumen 58

| | |
|---|------------|
| Capítulo 4 Metodología de los estudios hormonales | 61 |
| Consideraciones metodológicas generales | 61 |
| Interpretación de los resultados | 65 |
| Resumen | 71 |
| | |
| Capítulo 5 Las hormonas como herramientas para el control del entrenamiento | 73 |
| Sistema simpaticosuprarrenal | 73 |
| Sistema hipofisocorticosuprarrenal | 78 |
| Hormonas pancreáticas | 89 |
| Hormona y factores del crecimiento | 94 |
| Hormonas tiroideas | 98 |
| Hormonas reguladoras del equilibrio hidroelectrolítico | 99 |
| Hormonas sexuales | 103 |
| Péptidos opiáceos endógenos | 109 |
| Resumen | 111 |
| | |
| Capítulo 6 Índices hematológicos e inmunológicos y equilibrio hidroelectrolítico | 113 |
| Índices hematológicos | 113 |
| Índices inmunológicos | 129 |
| Equilibrio hidroelectrolítico | 133 |
| Resumen | 137 |
| Conclusión general de la parte II | 138 |
| | |
| Parte III | |
| | |
| Realización del control bioquímico del entrenamiento | 139 |
| | |
| Capítulo 7 Retroalimentación desde los efectos inducidos por el entrenamiento | 141 |
| Sistema energético muscular y clasificación del ejercicio | 141 |
| Sistema energético anaeróbico | 144 |
| Sistema energético aeróbico | 150 |
| Control de los mecanismos de producción de energía | 161 |
| Valoración de otros efectos del entrenamiento | 167 |
| Resumen | 168 |

| | | |
|--------------------------|--|------------|
| Capítulo 8 | <i>Evaluación de las cargas en el entrenamiento</i> | 171 |
| | Carga de la sesión de entrenamiento | 171 |
| | Microciclos de entrenamiento | 180 |
| | Resumen | 191 |
| Capítulo 9 | <i>Valoración de los cambios de la adaptabilidad para la optimización de las estrategias de entrenamiento</i> | 193 |
| | Cambios de la adaptabilidad en el entrenamiento | 193 |
| | Cambios hormonales y metabólicos durante un macrociclo de entrenamiento | 198 |
| | Alteración de las actividades inmunitarias durante un macrociclo de entrenamiento | 208 |
| | Fenómenos especiales en el deporte de alto nivel | 210 |
| | Resumen | 219 |
| | Conclusión general de la parte III | 220 |
| Conclusiones | | 221 |
| Bibliografía | | 223 |
| Índice alfabético | | 277 |

Esta página dejada en blanco al propósito.

Prefacio

Desde un punto de vista biológico, el entrenamiento deportivo representa la adaptación del organismo a unas condiciones de mayor actividad muscular. Dicha adaptación puede conseguirse como resultado de diversos cambios en el organismo que abarcan desde el nivel de las estructuras celulares y los procesos metabólicos hasta el nivel integral de las actividades funcionales, su control y la construcción de sus estructuras. Los cambios afectan a los mecanismos moleculares de los procesos metabólicos y la capacidad funcional de las estructuras celulares. En conjunto, todos estos cambios aseguran el aumento de la capacidad de trabajo físico y el rendimiento deportivo, contribuyen al desarrollo óptimo de los niños y los adolescentes, aseguran una mejora del estado de salud y ayudan a mantener la calidad de vida de los ancianos. No obstante, la aparición de todos estos cambios depende de la calidad y la organización del entrenamiento. De hecho, los efectos del entrenamiento están específicamente relacionados con determinadas características de los ejercicios realizados, su intensidad y duración y la relación trabajo/reposo, tanto durante la sesión de entrenamiento como en el microciclo de entrenamiento (normalmente de 4 a 7 días). En consecuencia, el objetivo del entrenamiento deportivo es provocar un cambio intencionado en el organismo mediante los ejercicios y métodos de entrenamiento más adecuados.

Los principios sobre los que se basa este concepto de entrenamiento derivan de los siguientes resultados obtenidos a partir de estudios fisiológicos y bioquímicos:

- Un cierto número de cambios y peculiaridades en el organismo distinguen al deportista de elite (*homo olympicus*) de la persona sedentaria (*homo sedentarius*).
- Los experimentos realizados en los entrenamientos y los estudios cruzados confirman que el ejercicio sistemático puede inducir los cambios necesarios para mejorar las capacidades físicas.
- La naturaleza, intensidad y duración de los ejercicios de entrenamiento y las peculiaridades en la participación de diversos músculos y unidades motoras son determinantes para los cambios adaptativos del organismo.

- Los cambios específicos en el organismo dependen de la realización de ejercicios específicos y la síntesis adaptativa de proteínas es la base de esta relación. De hecho, se cree que los cambios hormonales y los metabolitos acumulados durante y después del ejercicio son inductores de la síntesis específica de proteínas. La síntesis adaptativa de proteínas así provocada da lugar a un aumento de las estructuras celulares más activas e incrementa el número de moléculas de enzimas que catalizan las vías metabólicas más sensibles.

Así, los ejercicios de entrenamiento provocan los cambios específicos en el organismo necesarios para conseguir el propio objetivo del entrenamiento. Por ejemplo, una mayor resistencia requiere un mayor potencial oxidativo de las fibras musculares, que a su vez se consigue gracias a un mayor número de mitocondrias en las células y una mayor actividad de las enzimas oxidativas. En su conjunto, los cambios provocados por los distintos ejercicios dan lugar a una mejora del nivel de rendimiento físico.

La principal ventaja del control bioquímico es que cada ejercicio se realiza para conseguir un cambio específico en el organismo y que el cambio resultante hace posible comprobar la eficacia de cada uno de estos ejercicios o grupo de ejercicios. De esta manera, el entrenamiento se convierte en un proceso bien controlado y, en consecuencia, los cambios que experimenta el organismo sirven para controlar la eficacia del entrenamiento respecto a una respuesta específica.

Para la planificación del entrenamiento, especialmente para las correcciones a una planificación anterior, se necesita información de respuesta para saber qué está pasando en el organismo del deportista; para saber cómo se puede influir sobre las sesiones, los regímenes y las fases del entrenamiento (por ejemplo, fase de entrenamiento intenso o fase de puesta a punto); y para saber cuáles son los principales resultados del entrenamiento. En muchos casos, es necesario realizar estudios hormonales y metabólicos para obtener la información necesaria.

Los métodos bioquímicos se utilizan cada vez más en el entrenamiento de los deportistas. Muchos deportistas

y entrenadores reconocen el valor de los índices bioquímicos y los utilizan como guía para el entrenamiento, aunque también es cierto que en algunos casos los resultados de los estudios bioquímicos son incomprensibles y por lo tanto carecen de utilidad. Por otra parte, en ocasiones, los métodos bioquímicos se utilizan incorrectamente o de forma incoherente.

El objetivo de *Análisis y control del rendimiento deportivo* es proporcionar a los entrenadores de elite, los médicos deportivos, los investigadores y los estudiantes de posgrado los conocimientos relacionados con los principios científicos utilizados en los métodos bioquímicos destinados al control del entrenamiento. En este sentido, esperamos ofrecer la información necesaria para poder escoger los métodos bioquímicos que se adapten a los resultados esperados, evitar la sobrevaloración de los resultados obtenidos en los estudios bioquímicos y determinar la adecuación o la inconsistencia de un método para obtener la información necesaria. Para ello, este libro trata de los conocimientos básicos y los problemas metodológicos relacionados con el control bioquímico del entrenamiento deportivo.

El objetivo de este libro es determinar cuándo y cómo utilizar el control bioquímico en el entrenamiento deportivo teniendo en cuenta la metodología de los estudios bioquímicos de campo y su validez, limitaciones y posibles causas de error. La principal tarea es definir la información relevante y las bases científicas para la utilización de los diversos métodos de control. Nuestra idea es demostrar que una herramienta es buena si se emplea correctamente y de forma coherente. Para ello, el análisis de los diversos métodos se prolongará en una evaluación de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el objetivo concreto del control del entrenamiento.

El libro está dividido en tres partes. La primera hace referencia al objetivo, la necesidad y los procesos relacionados con el control bioquímico del entrenamiento. La segunda incluye un análisis general de los métodos de

control utilizados, y pone especial hincapié en los metabolitos, los sustratos y las hormonas como herramientas de control bioquímico. La tercera analiza el empleo de diversos métodos de valoración de los cambios inducidos por el mismo, la evaluación de la carga de la sesión de entrenamiento (que incluye la evaluación del efecto del entrenamiento), el control sobre la influencia de los microciclos del entrenamiento, la valoración del rendimiento máximo, el control de la capacidad adaptativa del organismo y la oportuna determinación de lo que puede llegar a provocar un sobreentrenamiento.

El lector podrá obtener los conocimientos necesarios para utilizar los métodos bioquímicos y comprender los resultados obtenidos. Esperamos que *Análisis y control del rendimiento deportivo* ayude a solidificar las bases para dirigir y planificar el entrenamiento de los deportistas, lo cual permitirá, a su vez, que el entrenamiento sea más eficaz.

Esperamos que los investigadores especializados en el control del entrenamiento encuentren en *Análisis y control del rendimiento deportivo* la información necesaria para estimular sus ideas, realizar un control bioquímico más eficaz y desarrollar nuevos métodos de control. Nuestro deseo es ayudar a quienes utilizan el control bioquímico del entrenamiento a comprender mejor sus resultados.

Este libro es una continuación de *Adaptación en el entrenamiento deportivo* (Virus 1995). La excelente y profunda revisión realizada por Saltin y Gollnick (1983) en *Manual de fisiología – músculo esquelético* y los monográficos de Yakovlev (1977), Hollman y Hettinger (1976), Hargreaves (1995) y Lehmann *et al.* (1999a, 1999b), así como los libros de texto de Åstrand y Rodahl (1986), Brooks *et al.* (1996) y Garret y Kirkendall (2000) han proporcionado las bases tanto para *Adaptación en el entrenamiento deportivo* como para *Análisis y control del rendimiento deportivo*. Además, diversos artículos han proporcionado la información referente a la adaptación metabólica de la actividad muscular.

Créditos

Figura 3.2. Reproducida con permiso de H. Itoh, Y. Yamazaki e Y. Sato, 1995, «Salivary and blood lactate after supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners». *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences of Sports* 5: 285-290.

Figura 3.5. Reproducida con permiso de A. Viru, 1987, «Mobilization of structural proteins during exercise», *Sports Medicine* 4: 95-128.

Figura 3.6. Adaptada con permiso de A. Viru, 1987, «Mobilization of structural proteins during exercise», *Sports Medicine* 4: 95-128.

Figura 3.7, 3.8. Reproducidas con permiso de A. Viru *et al.*, 1995, «Variability in blood glucose change during a 2-hour exercise», *Sports Medicine, Training and Rehabilitation* 6: 127-137.

Figura 4.5. Reproducida con permiso de K. Toode *et al.*, 1993, «Growth hormone action on blood glucose, lipids and insulin during exercise», *Biology of Sport* 10 (2): 99-106.

Figura 4.6, 5.2, 5.5. Reproducidas con permiso de A. Viru, K. Karelson y T. Smirnova, 1992, «Stability and variability in hormone responses to prolonged exercise», *International Journal of Sports Medicine* 13: 230-235. Georg Thieme Verlag.

Figura 4.7 Reproducida con permiso de A. Viru *et al.*, 1990, «Changes of β endorphin level in blood during exercise», *Endocrinologica Experimentalis* 24: 63-68.

Figura 5.6. Adaptada con permiso de J. Wahren *et al.*, 1975, «Metabolism of glucose, free fatty acids and amino acids during prolonged exercise in man». En *Metabolic adaptation to prolonged physical exercise*, editado por H. Howald y J. R. Poortmans (Basilea: Birkhäuser Verlag), 146, 147.

Figura 6.3. Adaptada con permiso de *European Journal of Applied Physiology*, Influence of prolonged physical exercise on the erythropoietin concentration in blood, J. Schwandt *et al.*, vol. 63, págs. 463-466, 1991, © Springer-Verlag GmbH & CO.KG.

Figura 6.6. Reproducida con permiso de M. N. Sawka *et al.*, 2000, «Blood volume: importance and adaptation to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness», *Medicine and Science of Sports & Exercise* 32: 332-348.

Figura 6.10. Adaptada con permiso de T. Clausen y M. E. Everts, 1991, «K⁺-induced inhibition of contractile force in rat skeletal muscle: role of active Na⁺ + K⁺ transport», *American Journal of Physiology* 30: C791-C807.

Tabla 7.2. Adaptada con permiso de E. Hultman y R. C. Harris, 1988, Carbohydrate metabolism. En: *Principles of exercise biochemistry* (Basilea, Suiza: S. Karger), 78-119. Adaptada con permiso de E. Hultman *et al.*, 1990, Energy metabolism and fatigue. En: *Biochemistry of Exercise VII* (Champaign, IL: Human Kinetics), 74.

Tabla 7.3. Reproducida con permiso de B. Saltin, 1990, Anaerobic capacity: past, present and prospective. En: *Biochemistry of Exercise VII* (Champaign, IL: Human Kinetics), 406.

Figura 7.4, 9.8, 9.14. Reproducidas con permiso de W. Kindermann, 1986, «Ausdruck einer vegetativen Fehlsteuerung», *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 37: 238-245.

Figura 7.5 Reproducida con permiso de A. Urhausen *et al.*, 1993, «Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state», *International Journal of Sports Medicine* 14: 134-129.

Figura 7.7. Reproducida con permiso de E. Horton y R.L. Terjung, 1988, Dietary intake prior to and after exercise. En: *Exercise, nutrition, and energy metabolism* (Nueva York: McGraw-Hill Companies), 134.

Tabla 7.4. Adaptada con permiso de G. Neumann, 1992, Cycling. En: *Endurance in sport*, editado por R. J. Shephard y P.-O. Åstrand (Oxford, R. U.: Blackwell Sciences Publication), 582-596.

Tabla 7.7. Adaptada con permiso de H. Liesen, 1985, «Trainingsteigerung im Hochleistungssport: einge Aspekte und Beispiele», *Deutsche Zeitschrift für die Sportmedizin* 1: 8-18. Adaptada con permiso de E. Hultman *et al.*, 1990, Energy metabolism and fatigue. En: *Biochemistry of Exercise VII* (Champaign, IL: Human Kinetics), 74.

Tabla 7.8. Adaptada con permiso de A. Urhausen, A. B. Coen y W. Kindermann, 2000. «Individual assessment of the aerobic-anaerobic transition by measurements of blood lactate». En: *Exercise and sport science*, ed. W. E. Garrett y D. T. Kirkendall (Filadelfia: Lippincott, Williams and Wilkens), 267-275.

Figura 7.13, 8.5. Reproducida con permiso de G. Neumann, 1992, Cycling. En: *Endurance in sport*, editado por R. J. Shephard y P.-O. Åstrand (Oxford, R. U.: Blackwell Sciences Publication), 582-596.

Figura 7.16. Reproducida con permiso de *European Journal of Applied Physiology*, Steroid and pituitary hormone responses to rowing exercising: relative significance of exercise intensity and duration and perfor-

mance, V. Snegovskaya y A. Viru, vol. 67, págs. 59-65, 1993 © Springer-Verlag GmbH & CO.KG.

Figura 7.17, 9.11. Reproducidas con permiso de Lehmann *et al.*, 1989, *Sur Bedeutung von Katecholamin – und Adrenorezeptorverhalten für Leistungsdiagnostik and Trainingsbegleitung* (Münster, Alemania: Philippka-Sportverlag), 15, 19.

Figura 8.2. Reproducida con permiso de A. Viru *et al.*, 1992, «3-Methylhistidine excretion in training for improved power and strength», *Sports Medicine Training and Rehabilitation* 3: 183-193.

Figura 8.7. Reproducida con permiso de V. Oopik y A. Viru, 1992, «Changes of protein metabolism in skeletal muscle in response to endurance training», *Sports Medicine, Training and Rehabilitation* 3 (1): 55-64.

Figura 8.8. Reproducida con permiso de R. H. T. Edwards, 1983, Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue. En: *Biochemistry of Exercise* (Champaign, IL: Human Kinetics), 6.

Figura 9.6. Reproducida con permiso de V. Snegovskaya y A. Viru, 1993, «Elevation of cortisol and growth hormone levels in the course of further improvement of performance capacity in trained rowers», *International Journal of Sports Medicine* 14: 202-206. Georg Thieme Verlag.

Figura 9.9. Adaptada con permiso de B. B. Pershin *et al.*, 1988, «Reserve potential of immunity», *Sports Training Medicine and Rehabilitation* 1 (1): 55.

Parte

I

Objetivo del control bioquímico del entrenamiento

El objetivo de este libro es tratar sobre las cuestiones relacionadas con el control del entrenamiento de los deportistas mediante la utilización de estudios metabólicos y hormonales. En la primera parte del capítulo 1, el lector hallará un breve resumen histórico de los estudios metabólicos realizados con seres humanos que practican el ejercicio físico y participan en actividades deportivas. El capítulo 1 trata también del desarrollo de los distintos métodos de investigación y la obtención de los conocimientos específicos que permiten a los investigadores utilizar los resultados de los análisis de sangre y de orina para dar las oportunas recomendaciones sobre cómo mejorar el diseño y las cargas de los entrenamientos.

Si se quiere abordar una rama concreta del trabajo de investigación, primero hay que saber lo que se conoce en esa área determinada, los principios que dirigen el proceso y cuáles son las características especiales del diseño de esos estudios. Para ello, es necesario describir las características del control bioquímico del entrenamiento. La segunda parte del capítulo 1 trata de todas estas cuestiones.

El proceso de control es eficaz si cuenta con profundas bases científicas. En consecuencia, los investigadores que trabajan con el control bioquímico del entrenamiento tienen que estar familiarizados con los resultados y los conceptos relacionados con la adaptación metabólica de la actividad muscular. Todas estas cuestiones también deben ser comprensibles para quienes vayan a aplicar los resultados del control bioquímico en el diseño y dirección del proceso del entrenamiento. Para ello, el capítulo 2 ofrece una breve explicación de la adaptación metabólica en el entrenamiento.

Esta página dejada en blanco al propósito.

Capítulo

1

Introducción: necesidad y oportunidad

En 1992, Urhausen y Kindermann publicaron el artículo *Control Bioquímico del Entrenamiento*, en el que los autores explicaban cómo algunos parámetros metabólicos y hormonales, analizados en deportistas durante su entrenamiento habitual, podían ser de utilidad para obtener información sobre los cambios que ocurrían en el organismo. El documento no contenía la definición del término «control bioquímico del entrenamiento», no obstante, la esencia de este concepto quedaba implícita en la exposición de los resultados. Urhausen y Kindermann (1992a) escribían: «El estímulo del entrenamiento sólo puede ser efectivo si la intensidad y la duración de la carga durante dicho entrenamiento corresponden a la capacidad de carga real del individuo. En este estrecho margen comprendido entre el entrenamiento por debajo de un umbral eficaz y el sobreentrenamiento, la medicina deportiva cuenta con diferentes parámetros sanguíneos a su disposición...» *En consecuencia, el control bioquímico puede ser considerado como un medio complejo pero eficaz para conseguir una correcta dirección del entrenamiento deportivo mediante la utilización de la información obtenida en los análisis bioquímicos.*

Urhausen y Kindermann (1992a) utilizaron parámetros sanguíneos (sustratos, enzimas, hormonas y parámetros inmunológicos), los cuales indudablemente constituyen las herramientas esenciales para el control bioquímico del entrenamiento. No obstante, el control bioquímico también puede incluir análisis de orina, sudor y tejido muscular (mediante biopsias).

Datos históricos

En el siglo XIX aparecieron estudios que tenían en cuenta los procesos metabólicos en el ser humano durante la actividad muscular. En 1886, Peterkofer y Voit indicaron que durante la actividad muscular las proteínas, a diferencia de los hidratos de carbono y las grasas, no desempeñaban una función principal como sustrato para la producción de energía en los músculos en contracción. Fick y Wislicenus, en un estudio realizado en 1866, hallaron que durante la ascensión a una montaña (1.956 m) con una dieta sin proteínas, la excreción urinaria de nitrógeno era sólo de 6 g, es decir, una degradación de 37,6 g de proteínas que, en términos de energía, supone sólo 635 kJ (unas cuantas veces menos que el gasto energético real). Parece ser que éste fue el primer estudio bioquímico (o al menos de entre los primeros) realizado con seres humanos mientras practicaban un ejercicio muscular. La principal conclusión de estos estudios se confirmó mediante los cálculos basados en los cambios del coeficiente respiratorio (Zunts, 1901; Krogh y Lindhard, 1920). No obstante, la degradación de las proteínas inducida por el ejercicio ya había sido ratificada en distintos artículos. Estaba claro que el ejercicio provocaba un incremento de la excreción urinaria de nitrógeno o un aumento de la cantidad de urea en orina y sangre (Rakestraw, 1921; Levine *et al.*, 1924; Cathcart, 1925), y estos datos permitieron establecer definitivamente la degradación de las proteínas inducida por el ejercicio. Posteriormente, este hecho se utilizó

para formular la teoría de que el ejercicio agudo induce el catabolismo, que a su vez es sustituido por el anabolismo durante la recuperación posterior.

Cuando se incluyó la maratón en los programas de competiciones atléticas (en los Juegos Olímpicos de Atenas de 1896 por primera vez), la posibilidad de la hipoglucemia se convirtió en un interesante tema de investigación; de hecho, la hipoglucemia consecutiva a las carreras de maratón fue tratada en diversos artículos (Barach, 1910; Levine *et al.*, 1924; Gordon *et al.*, 1925).

Las investigaciones sobre energética muscular realizadas por Meyerhof (para más información, véase Meyerhof 1930) y Hill (para más información, véase Hill, 1925) dirigían el interés de la investigación hacia los cambios del lactato en sangre y muy pronto se publicarían diversos estudios sobre la acción del ejercicio sobre el nivel de lactato (p. ej.: Schenk y Craemer, 1929; Margaria *et al.*, 1933; Bang, 1936). En este sentido, el interés se amplió a los cambios del pH sanguíneo (Dill *et al.*, 1930) y los sistemas tampón de la sangre evaluados a través de la reserva alcalina en sangre (Herxheimer, 1933).

Estos estudios no fueron realizados específicamente para proporcionar a los entrenadores información sobre los cambios en el organismo con la cual mejorar el entrenamiento. Los estudios bioquímicos llevados a cabo con este objetivo aparecieron en la década de 1950 y 1960 y los artículos de Yakovlev y su equipo fueron de los primeros. Para hallar la carga óptima durante el entrenamiento, se compararon los niveles de lactato, tras una sesión de entrenamiento y competiciones, en deportistas de juegos deportivos (Yakovlev *et al.*, 1952) y remeros. Los datos sobre los cambios del lactato durante los ejercicios deportivos fueron analizados por Donath *et al.*, (1969b). Por su parte, Haralambie (1962) analizó las posibilidades de las alteraciones en el equilibrio ácido-base para valorar la adaptación a los ejercicios musculares. El problema de la acidosis metabólica con el ejercicio deportivo intenso fue estudiado en profundidad por Kindermann y Keul (1977), cuyo material puede servir como respuesta estándar para la utilización del equilibrio ácido-base en la valoración de la intensidad del ejercicio.

En 1959, Yakovlev y sus colaboradores compararon los progresos en fuerza, velocidad y resistencia de los deportistas en diversas pruebas con las respuestas del lactato como indicador para analizar los ejercicios. Markova (1958) registró la acumulación de metabolitos proteicos tras ejercicios de levantamiento de peso con barras correspondientes al 25, 50 y 75% de la fuerza máxima de los deportistas. El ejercicio al 75% provocó una mayor acumulación de nitrógeno no proteico en sangre que el ejercicio al 25 o al 50%. Un estudio longitudinal posterior mostró que el entrenamiento era más eficaz

para aumentar la fuerza si se realizaba al 75% de la fuerza máxima del deportista. Todo este material indicaba que la acumulación de metabolitos proteicos podría ser utilizada en la valoración del efecto entrenable de las sesiones de entrenamiento. Para aprovechar los metabolitos proteicos, Haralambie (1964a) demostró que la acumulación de urea en sangre dependía de la intensidad y duración de los ejercicios deportivos. También sugirió que la respuesta de urea podría ser utilizada como prueba de diagnóstico del sobreentrenamiento (Haralambie y Berg, 1976). Probablemente, Eric Hultman fue el primero en utilizar la biopsia como método para el control del entrenamiento.

El término «control bioquímico del entrenamiento» no fue utilizado en estos artículos, sino que se hablaba de «diagnósticos bioquímicos» (Yakovlev, 1962), «análisis bioquímicos» (Yakovlev, 1970; Volkov, 1977) o «criterios bioquímicos» (Yakovlev, 1970, 1972; Volkov, 1974) así como de «medios para el diagnóstico funcional médico de los deportes» (Donath *et al.*, 1969b) o «medios de control para la valoración de la adaptación a los ejercicios físicos» (Haralambie 1962). El término «control del entrenamiento» se hizo popular en la década de 1990, de manera que, cuando se utilizaban métodos bioquímicos para el control del entrenamiento, el término general se describía como «control bioquímico del entrenamiento», tal y como hicieron Urhausen y Kindermann (1992a). Comparado con los términos «diagnósticos bioquímicos» o «análisis bioquímico», el término «control bioquímico» señala el objetivo del proceso.

Analizando las fases del diagnóstico bioquímico en el deporte, Yakovlev enumeró los intervalos óptimos más importantes: evaluación de los efectos del entrenamiento y consecución del rendimiento máximo (Yakovlev 1962), registro de las características de la influencia de las distintas sesiones de entrenamiento, predicción del nivel de rendimiento real, diagnóstico de los estados prepatológicos y análisis del estado nutricional (Yakovlev 1970). En consecuencia, los criterios bioquímicos deben ser analizados durante el reposo y tras los ejercicios de ensayo estándar, las sesiones de entrenamiento y las competiciones (Yakovlev, 1970). En 1972, Yakovlev recomendó el uso de las relaciones (ratios) molares de glucosa/lactato, lactato/piruvato, lactato/ácidos grasos libres (AGL), piruvato/AGL, y glucosa/AGL. Según los resultados de este equipo de investigación, la movilización y utilización de los ácidos grasos libres se dan en los deportistas altamente entrenados cuando los niveles de glucosa y lactato en sangre son mayores (Krasnova *et al.*, 1972).

Las pruebas bioquímicas se hicieron muy populares entre los deportistas del equipo nacional de la antigua Unión Soviética, la República Democrática Ale-

mana y algunos otros países. No obstante, la mayoría de los resultados obtenidos en estos ensayos no salieron a la luz, ya que se consideraban secretos. Sólo vio la luz un limitado número de artículos debido a los estrictos requisitos que había que cumplir para su publicación. Normalmente, estos artículos incluían estudios bioquímicos que no describían las ventajas prácticas de la información obtenida para su aplicación en el entrenamiento.

En la década de 1970, los estudios sobre el lactato y la urea de los deportistas se hicieron populares en todo el mundo. Los estudios sobre el lactato permitieron valorar el umbral anaeróbico (Wasserman y McIlroy, 1964; Mader y col., 1976), y también fueron utilizados para la valoración de la capacidad o potencia anaeróbica (glucogenolítica). El lactato era determinado por la prueba de Wingate o tras ejercicios supramáximos similares (Szogy y Cherebetiu, 1974; Jacobs *et al.*, 1983). Volkov (1963) propuso la valoración de la capacidad glucogenolítica anaeróbica utilizando la respuesta del lactato sanguíneo corriendo 4 veces 400 m. La misma posibilidad aparece cuando se registra el descenso del pH en ejercicios supramáximos (Hermansen y Osnes, 1972; Sahlin *et al.*, 1978).

Otros estudios y reseñas especiales consideraban los cambios inducidos por el ejercicio en los niveles de urea y otros productos de degradación de las proteínas (Chailley-Bert *et al.*, 1961; Gontzea *et al.*, 1961; Haralambie, 1964a; Gorokhov *et al.*, 1973; Refsum y Strömme, 1974; Haralambie y Berg, 1976; Lorenz y Gerber, 1979), incluidos los aminoácidos (véase Holz *et al.*, 1979; Viru, 1987). Las investigaciones realizadas por Chailley-Bert y colaboradores proporcionaron datos sobre el metabolismo de los electrolitos durante el ejercicio prolongado (Chailley-Bert *et al.*, 1961).

Urhausen y Kindermann (1992a) demostraron que el control bioquímico del entrenamiento no debía limitarse a las determinaciones de los niveles de lactato y urea, y señalaban que se podía obtener una valiosa información a través de los estudios hormonales. Los investigadores franceses utilizaron la excreción de corticosteroides para el diagnóstico de la fatiga durante el ejercicio prolongado (Rivoire *et al.*, 1953; Bugard *et al.*, 1961). El resultado más importante de estos estudios fue que en la fatiga inducida por el ejercicio se sustituía un incremento de la excreción de corticosteroides por un descenso o incluso la supresión de la actividad corticosuprarrenal.

En la antigua Unión Soviética se iniciaron estudios hormonales sobre las actividades deportivas habituales de los deportistas de elite. Durante el primer período se valoró la excreción urinaria de catecolaminas, corticosteroides y sus precursores y metabolitos (véase una síntesis en Kassil *et al.*, 1978; Viru, 1977). Más tarde, estos

estudios se ampliarían a la determinación de hormonas en sangre (p. ej.: Keibel, 1974). Los estudios hormonales se mencionaron en un popular libro sobre Lasse Virén (Saari, 1979), el cuatro veces campeón olímpico de los 5.000 y 10.000 m (1972 y 1976). Se utilizó la respuesta de las hormonas sanguíneas a las sesiones de entrenamiento para determinar la necesidad de incrementar la carga de trabajo. En la década de 1980, las respuestas de las hormonas sanguíneas fueron ampliamente investigadas en los deportistas de elite de la antigua Unión Soviética (Kostina *et al.*, 1986).

Urhausen y Kindermann (1992a) también señalaron la utilidad de los estudios inmunológicos y la valoración de la actividad enzimática en el plasma sanguíneo para controlar el entrenamiento. En 1970, Donath estudió el significado de la actividad de las enzimas plasmáticas en la evaluación de la influencia de las sesiones de entrenamiento y las competiciones.

Yakovlev (1977) puso de relieve que en el control bioquímico del entrenamiento el éxito depende del diseño de la prueba, la elección de los métodos y los parámetros bioquímicos utilizados. Estos tres componentes deben corresponder correctamente a la naturaleza específica de la prueba deportiva y la tarea objeto de estudio.

En resumen, los cambios metabólicos en el cuerpo humano relacionados con la actividad muscular han sido estudiados durante más de un siglo. Durante la última mitad del siglo xx, se hicieron intentos para proporcionar información a los entrenadores sobre los cambios metabólicos ocurridos durante las sesiones de entrenamiento, la competición y diversas fases del entrenamiento. El valor de esta información se basaba en las relaciones establecidas entre los cambios metabólicos implicados y la eficacia del entrenamiento. Ello hizo posible la elaboración de metodologías para la mejora de la dirección del entrenamiento. En el futuro, será necesario realizar estudios más profundos para crear sistemas de control de la información específicamente relacionados con la capacidad de rendimiento en las diversas disciplinas deportivas.

Principios y diseño del control del entrenamiento

Los deportistas han sido objeto de un gran número de mediciones, y es que cada aspecto en particular requiere diversas pruebas o mediciones. Sin embargo, el hecho de que se esté calculando determinado aspecto en los deportistas no significa que esa valoración constituya un control del entrenamiento. El control del entrenamiento debe incluir los siguientes cinco principios: