

LECCIÓN INAUGURAL

APERTURA DEL CURSO UNIVERSITARIO 2015-2016

Universidad Pablo de Olavide, de Sevilla

Octubre de 2015

Juan José González Badillo

Título: Deporte, entrenamiento y ciencia

Deporte

La Real Academia Española de la lengua (RAE) define el deporte como “*actividad física, ejercida como juego o competición, cuya práctica supone entrenamiento y sujeción a normas*”. También lo considera como “*recreación, pasatiempo, placer, diversión o ejercicio físico, por lo común al aire libre*”. Ambas acepciones del término son de interés en un análisis del deporte en relación con la ciencia. En el primer caso, esta relación viene determinada especialmente por la inclusión del término “entrenamiento” en la definición, ya que el desarrollo del mismo constituye la esencia y el objetivo prioritario de la ciencia en el deporte. La segunda acepción se constituye en un campo de aplicación de los conocimientos científicos, siempre provisionales, desarrollados en relación con los procedimientos y efectos derivados del entrenamiento, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población.

La Carta Europea del Deporte (art. 2.1 a., 1992) define el deporte como “*todo tipo de actividad física que, mediante una participación organizada o no, tenga por finalidad la expresión o mejora de la condición física y psíquica, el desarrollo de las relaciones sociales o la obtención de resultados en competiciones de todos los niveles*”. Esta definición engloba las dos acepciones de la RAE, reforzando la idea de que el deporte se trata de una “actividad física”, incluso cuando no está organizada o regulada, con un cuádruple objetivo, como es el de mejorar la condición física, la condición psíquica, las relaciones sociales y los resultados deportivos.

En sus orígenes, las actividades que podrían considerarse como “deportivas” estuvieron derivadas de la necesidad de ser más fuertes, rápidos y resistentes para asegurarse la supervivencia, así como del cultivo del cuerpo para estar mejor preparados física y técnicamente para las frecuentes luchas entre comunidades. En la actualidad, el deporte tiene dos vertientes claramente diferenciadas: la competitiva y la del ocio. En el primer caso se trata de mejorar el rendimiento físico, técnico y táctico para obtener resultados: marcas y títulos, en competiciones oficiales, regladas y validadas por las instituciones regionales, nacionales e internacionales competentes. Este tipo de actividad deportiva está reservada a personas jóvenes con cualidades especiales y exige una dedicación

importante, que en algunos casos llega a convertirse en una profesión. A pesar de estas exigencias, esta actividad no pierde el carácter de “*juego*”, determinado por la voluntariedad y libertad para practicar el deporte y por lo incierto del resultado. No obstante, el propósito de la “*recreación*” desaparece prácticamente a medida que crece el nivel competitivo y el compromiso ante sí mismo, las instituciones deportivas y la sociedad. Por el contrario, la actividad deportiva en el ámbito del ocio es una actividad masiva, para todas las edades, relacionada con la ocupación del tiempo libre, y tiene, o debe tener, como objetivo principal la conservación y mejora de la salud física y mental, con un efecto beneficioso contrastado sobre la prolongación de la vida y la reducción o retardo de la aparición de enfermedades. Este tipo de actividad no está exento del culto al cuerpo, de la búsqueda de la belleza, lo que en algunos casos llega a convertirse en una dedicación semejante a la actividad competitiva, al menos en relación con el tiempo dedicado a ello.

Entrenamiento deportivo

Cualquiera que sea la acepción de deporte a la que nos refiramos, al practicarlo siempre estaremos realizando un *entrenamiento*, ya que, como se ha indicado, el deporte es una *actividad física*, y toda actividad física exige un movimiento con cierta intensidad y tiempo de realización, elementos que definen el propio entrenamiento. En relación con la competición, el entrenamiento será la vía necesaria a través de la cual se produzcan las transformaciones fisiológicas (adaptaciones orgánicas) necesarias para conseguir la mejora del rendimiento que lleve a superar los resultados deportivos, sin una preocupación especial por la salud. En el ámbito del ocio, el entrenamiento es igualmente el procedimiento para activar los distintos sistemas orgánicos que van a dar lugar a una mejora de la calidad de vida, y en algunos casos a prolongarla. No obstante, en el ámbito del ocio también se da un rendimiento, porque la propia calidad de vida viene determinada y cuantificada, aparte de por la ausencia de enfermedades, por el *rendimiento físico* que facilita las tareas de movimiento diarias y la independencia en la realización de las mismas. Por tanto, cualquiera que sea la interpretación del concepto de deporte, no se puede concebir sin el *entrenamiento*.

Según el diccionario de la RAE, *entrenamiento* es la acción y efecto de entrenar o entrenarse. Y *entrenar* se entiende como la tarea de *preparar, adiestrar* personas o animales, especialmente para la *práctica del deporte*. El término inglés “training” significa instrucción o adiestramiento, capacitación, ejercicio. Tanto la acepción de “ejercicio” o actividad física como la de aprendizaje o “adiestramiento” son adecuadas para el deporte. En el ámbito de la tecnología educativa (diccionario de Tecnología de la Educación, 1991) el entrenamiento se entiende como una *práctica continua, sistemática y deliberada* de ciertas acciones comportamentales, orientadas a la *adquisición* y desarrollo de algún tipo específico de *habilidad o aptitud*. Habitualmente se refiere a...tareas psicomotoras.

Desde el punto de vista fisiológico se entiende que el proceso de entrenamiento supone la *repetición de una serie de ejercicios* para provocar la *automatización del gesto* de competición y *desarrollar las funciones estructurales y metabólicas* que conducen al incremento del *rendimiento deportivo* (Virus, 1995). Las transformaciones estructurales y metabólicas significan una adaptación del organismo a los estímulos (ejercicios, prácticas) aplicados. En este sentido, el entrenamiento puede definirse como un *proceso de adaptación* en el que existe una relación entre los *estímulos de entrenamiento* y los *efectos estructurales y funcionales* deseados, aplicando los *medios y métodos específicos*, con el objetivo de *mejorar el rendimiento físico y deportivo*. En síntesis, el entrenamiento desde el punto de vista fisiológico supone un programa de *presentación de estímulos adecuados* para inducir adaptaciones funcionales y estructurales que eleven el umbral para la aparición de la fatiga y que mejoren una o varias habilidades motoras determinantes del rendimiento físico y deportivo.

Aunque la mayoría de las definiciones expuestas hacen referencia al entrenamiento para competir, son igualmente aplicables cuando el objetivo no es participar en competiciones.

Dado que los organismos vivos son sistemas abiertos en estado uniforme, caracterizados por la interacción dinámica entre sus componentes, y que el estado uniforme puede ser perturbado por un cambio en las condiciones externas, es decir, un estímulo (Bertalanffy, 1976), se puede deducir que el entrenamiento se comporta como un sistema, y por tanto que tiene un *final o salida del sistema* que es el cambio en el rendimiento físico (cambio de la condición física, de la salud, de la independencia motriz) y el cambio del rendimiento en competición (resultados deportivos oficiales o no). Pero para ello es necesario que tenga un *principio o entrada del sistema*, que consiste en una actividad física, continua, sistemática, planificada y deliberada. Y en medio de ambos momentos se encuentra el *procesado interno*, el *sistema autorregulador* que viene representado por el practicante (deportista, en tanto que practicante de una *actividad física* determinada), en el que tienen lugar los procesos de transformaciones estructurales y funcionales de sistemas y órganos (efecto de la adaptación a los estímulos) que explican el rendimiento y que dependen de los *estímulos específicos* de entrada (carga: cantidad e intensidad de la práctica y ejercicios utilizados) que se aplican. A este esquema básico se debe añadir la idea de que para obtener los mayores beneficios del entrenamiento, la actividad no ha de ser una actividad que se realiza esporádicamente, sin una planificación y de manera espontánea, sino que ha de ser una práctica sistemática y deliberada, con esfuerzo, que no siempre es intrínsecamente placentero.

Entrenamiento y ciencia

Como es sabido, la ciencia en general tiene como objetivo describir y explicar los hechos y fenómenos, así como hacer previsiones sobre el comportamiento futuro. Esta tarea se lleva a cabo a través de la confirmación y rechazo de hipótesis, tanto por medio

de la inducción, derivada de la observación de los hechos, como de la experimentación, en la que se manipulan las variables como procedimiento para tratar de comprobar la posible relación causa-efecto. De ambos procedimientos, complementarios y necesarios, se *deducen* las conclusiones que hacen avanzar el conocimiento científico. El objetivo final será proponer *teorías explicativas* de la realidad. Esto es aplicable al entrenamiento, que en su evolución desde el exclusivo empirismo inicial (entendida como exclusiva experiencia personal) tiende progresivamente a aplicar el método científico para dar respuesta a los problemas que plantea la mejora del rendimiento físico y deportivo.

En una primera fase del desarrollo del entrenamiento y los resultados deportivos se utilizaba como referencia y explicación la experiencia práctica de los entrenadores y en algunos casos también de los deportistas. “Esto me ha ido bien, por tanto esto es lo que hay que hacer”. Esta afirmación no es de carácter científico, porque no se intenta buscar las causas que han ocasionado un determinado rendimiento, ni se trata de comprobar si esos resultados se obtendrían siempre en cualquier situación. No obstante, la experiencia de los técnicos y deportistas sí es un elemento determinante a la hora de plantear preguntas a la ciencia

Por tanto, la experiencia derivada de la práctica del entrenamiento y los resultados de la investigación científica se complementan, y por ello podemos decir que los métodos de entrenamiento que se utilizan en el mundo del deporte para mejorar una cualidad física y el rendimiento deportivo específico son la consecuencia de dos tipos de conocimientos:

- Los adquiridos por la experiencia práctica que han tenido los entrenadores a lo largo de los años con deportistas de distintos niveles de rendimiento y especialmente con los de elite.
- Los derivados de los estudios científicos interdisciplinarios realizados en laboratorio, aunque algunos de éstos se hayan hecho con sujetos sedentarios o de baja cualificación deportiva.

Los conocimientos que han desarrollado los entrenadores a partir de sus experiencias derivadas de la práctica *sistemática y consciente* con deportistas de distintos niveles generan datos y conocimientos prácticos y, sobre todo, generan nuevos problemas y preguntas que hay que responder. Para intentar dar respuestas a estas preguntas hay que someter a prueba las distintas hipótesis alternativas que se deducen de la comparación de los resultados obtenidos en la práctica y de los conocimientos científicos disponibles hasta el momento. A través de la formulación de sucesivas hipótesis se llega a proponer una teoría del entrenamiento. Todos actuamos –de manera consciente o inconsciente– bajo el paraguas de una teoría, “nuestra teoría”, que nos sirve de apoyo y nos justifica las decisiones que tomamos ante cualquier problemática de entrenamiento. Si “nuestras teorías” o las teorías derivadas de la investigación o ambas son capaces de explicar algo mejor el rendimiento físico y deportivo, lo lógico es que mejoren los métodos de entrenamiento y que esta mejora se vea reflejada rápidamente en la práctica deportiva.

No obstante, hay que tener presente que mientras que una hipótesis no esté confirmada sigue siendo una conjetura, es decir, lo que afirma esa hipótesis no está comprobado. En el deporte se actúa en gran medida por conjeturas, que hay que tender a confirmar. Muchas de las que consideramos como “bases teóricas” del entrenamiento y que aplicamos actualmente no han sido comprobadas científicamente, por lo que, desde el punto de vista científico, habría que considerarlas más como hipótesis que como teorías.

Dos de los elementos fundamentales que caracterizan a una actuación científica son el control y evaluación de los hechos y fenómenos y la adecuada interpretación y aplicación de los resultados. En este sentido, hay que distinguir dos niveles en el camino hacia la consolidación de la ciencia del entrenamiento, y, por ende, del deporte: i) el diseño y desarrollo de los medios tecnológicos para la evaluación del rendimiento del deportista y el conocimiento de la magnitud y características de los estímulos y ii) el desarrollo de la metodología de análisis y aplicación de los datos proporcionados por la evaluación. Hasta hace unos años el problema era “con qué medir”. Actualmente esta situación va cambiando y el principal reto está en saber “qué medir, cómo medir y qué hacer con los datos obtenidos”.

Pero los problemas que se plantean en el desarrollo de una teoría del entrenamiento deportivo no se pueden resolver sin el apoyo de otras disciplinas científicas. Las transformaciones estructurales y funcionales del organismo humano que están en la base de la actividad motriz del hombre y de la mejora del rendimiento físico y deportivo sólo se pueden explicar si se utiliza la metodología propia de la bioquímica, la fisiología, la física, las matemáticas... y otras ciencias relacionadas con el comportamiento humano. Por tanto, el enfoque de esta problemática ha de ser de carácter interdisciplinar. De esta manera, podemos decir que la teoría del entrenamiento ha de estudiar *los fenómenos, procesos y regularidades que caracterizan a la actividad deportiva* y que llevan a la mejora del rendimiento físico y de los resultados deportivos, utilizando racionalmente y de manera específica los *medios y métodos propios y los de las ciencias afines*.

Objetivos, contenidos y métodos del entrenamiento deportivo

Para que una disciplina se pueda considerar ciencia autónoma ha de tener objetivos y contenidos propios y utilizar el método científico, pero sobre todo lo que distingue a una ciencia de otras es su *objeto formal*. Varias ciencias, como por ejemplo la fisiología, la biomecánica o la anatomía, pueden tener el mismo objeto *material*, y común con la ciencia del entrenamiento deportivo, que en este caso sería el cuerpo humano. Pero cada una de ellas lo estudia desde una perspectiva distinta, desde un punto de vista distinto, y esto es lo que constituye el *objeto formal*. Así es que estas ciencias no se distinguen por lo que estudian (objeto material), sino por cómo lo estudian, su objeto formal o propio.

Se podría pensar que la pretendida ciencia del entrenamiento deportivo se disuelve en el contenido y en la metodología de las ciencias que hemos considerado como afines. Pero esto es algo que ocurre también en muchas de las que se consideran como ciencias

consolidadas. Por ejemplo, la medicina, como “ciencia y arte de precaver y curar las enfermedades del cuerpo humano”, no sería posible sin el auxilio de la bioquímica, la anatomía, la microbiología, la fisiología..., pero ninguna de estas ciencias afines dice de manera explícita qué decisiones hay que tomar ante una enfermedad, que es lo que constituye el objeto formal, lo propio, de la medicina. Por tanto, que esta circunstancia se dé también en el deporte, no justifica que el entrenamiento deportivo no pueda aspirar a formar parte del conjunto de ciencias autónomas, porque, efectivamente, podemos diferenciar su *objeto formal* y sus *contenidos propios*.

El objeto formal u objeto propio de la investigación científica en el entrenamiento deportivo está constituido por los *fenómenos, procesos y regularidades* que caracterizan a la actividad deportiva, así como por los *procesos de desarrollo y regulación del perfeccionamiento estructural y funcional* del individuo en relación con el rendimiento físico y deportivo. Este objeto de estudio abarca tanto los procesos que explican el desarrollo de los determinantes comunes del rendimiento deportivo como los procesos particulares del desarrollo de cada especialidad deportiva.

De la misma manera, el *contenido* de la teoría del entrenamiento incluye el estudio de los *métodos y medios* de entrenamiento, su *sistematización*, sus *funciones* y las *condiciones* para ser realizados, así como la *creación de nuevas metodologías y técnicas* que puedan contribuir a la optimización del rendimiento deportivo.

En cuanto a los *métodos de estudio*, emplea el método experimental y el método hipotético-deductivo, propios del método científico, así como los que se aplican en las ciencias auxiliares que sirven de apoyo a la propia ciencia del deporte y que sean además adecuados a las características y necesidades de la actividad deportiva. Asimismo, en la selección y medición de los ejercicios que generan los datos de investigación se aplican los métodos de análisis que permiten cumplir los requisitos de fiabilidad y validez necesarios a cualquier estudio científico.

Además de cumplir con los requisitos indicados anteriormente, la ciencia del entrenamiento deportivo se consolidará si recorre un largo camino hasta conseguir un conjunto de *normas explícitas propias* para la descripción de los fenómenos y la formulación de los principios, leyes y regularidades que conformen su contenido científico. La serie de leyes o hipótesis que se propongan deben llegar a ser susceptibles de contrastar objetivamente por distintos grupos o sujetos y validadas al cumplirse en distintas situaciones. Esta actitud probatoria debe, a su vez, permitir mantener abierto permanentemente el sistema a nuevos contrastes para determinar en el futuro la limitación de la validez de los enunciados, tanto en lo que se refiere a los casos en los que se pueden aplicar como al significado intrínseco de los mismos. Esto debería permitir una coherencia en toda la construcción científica, de manera que un término signifique siempre lo mismo en cualquier lugar y no algo distinto según quién lo utilice, y que la definición de un término se haga con propiedad lingüística, sea necesaria y esté justificada científicamente, y no dependa de la “inspiración” del que la propaga.

Aportaciones más relevantes que han contribuido a través de la historia a la creación de la ciencia del entrenamiento físico y deportivo

Se tienen noticias de la utilización del entrenamiento o de la actividad física desde las sociedades primitivas. Existían algunos juegos y se “entrenaba” para mejorar el uso del arma en la lucha. En la Grecia clásica existieron médicos, como Hipócrates y Galeno, que discutían los problemas de la dieta, la salud y la importancia del ejercicio físico. Para Galeno, el ejercicio físico es sinónimo de “esfuerzo” y ruptura de la homeostasis, ya que “si no se alteraba la frecuencia respiratoria, no había ejercicio físico”. Se inicia la preparación biológica y la utilización de medios de recuperación mediante baños de agua y de sol y masajes. Los periodos de entrenamiento se dividían en ciclos. El Tetra o plan de cuatro días de entrenamiento utilizado por los griegos determinaba una secuencia de entrenamiento que puede ser utilizada en nuestros días.

En relación con el entrenamiento de la resistencia

A finales del siglo XIX y principios del XX los ingleses comprendieron la importancia de las funciones cardiorrespiratorias para el ejercicio de resistencia y el beneficio del entrenamiento en los niños. En Estados Unidos se encuentran los primeros conceptos del entrenamiento interválico. En los entrenamientos de un atleta finlandés muy famoso, Paavo Nurmi, se encuentran los primeros esbozos de lo que hoy se conoce como periodización del entrenamiento. Se incorpora el trabajo de velocidad (carreras de alta intensidad y tipo “sprint”) para los fondistas. En Suecia, entrenadores muy conocidos, como Gösse Holmer y Gösta Olander, apoyaban el entrenamiento fuera de pista, en circuitos y recorridos naturales, y desarrollaron un método de entrenamiento conocido como fartlek, donde existía una alternancia de ritmos dentro de un mismo desplazamiento.

A partir de 1945, tras la II Guerra Mundial, los métodos de entrenamiento sufrieron modificaciones radicales. El máximo exponente de los nuevos sistemas de entrenamiento fraccionado fue Emil Zatopek, con el intervall-training, tal y como se conoce actualmente. Cerutti (Escuela Australiana) no basaba su entrenamiento en métodos fraccionados sino por métodos de duración en la naturaleza (carreras en playas, dunas...). El neozelandés Lydiard extrajo los puntos fuertes de ambos sistemas. Pero faltaba una fundamentación científica. En este sentido, una de las contribuciones más significativas en la historia del entrenamiento deportivo reside en la fundamentación, desarrollo y sistematización del "*entrenamiento interválico*" creado por Gerchssler, y fundamentado por los investigadores médico-científicos de Friburgo, a la cabeza de los cuales estaba el Doctor Reindell. Posteriormente aparece la teoría del Dr. Van Aaken, que se muestra como un gran entusiasta del entrenamiento de fondo. Sus planteamientos

son totalmente contrarios a los de la escuela de Friburgo. Propone entrenamientos basados fundamentalmente en una gran duración y a una baja intensidad.

La comprensión del entrenamiento basada en el conocimiento del efecto de las cargas sobre el organismo de los deportistas se origina a partir de los años cincuenta y sesenta con los trabajos en el área de la fisiología del ejercicio que contribuirían de forma significativa a la comprensión de las respuestas del organismo al ejercicio físico, permitiendo así sistematizar el proceso de preparación de los deportistas basándose en las leyes de la adaptación funcional al esfuerzo. En 1950, Letunov da un avance científico a la concepción del entrenamiento al considerar la respuesta biológica como referente para la planificación de entrenamiento. Propone que el entrenamiento debe planificarse en función de los cambios de los estados de entrenamiento, es decir de las adaptaciones biológicas. En 1965 aparece la obra de Matveev, que dará la vuelta al mundo y en la que se plantea como base la organización del entrenamiento atendiendo a la formación, conservación y la pérdida temporal de la forma deportiva. La propuesta de Matveev ha sido, sin duda, la más conocida y la que más ha influido, aunque ha ido perdiendo importancia de manera notable en los últimos 25-30 años. La mayoría de las propuestas elaboradas posteriormente se han hecho casi en oposición al planteamiento de Matveev, con la intención de superar sus deficiencias. Los puntos débiles que se han propuesto en los últimos años acerca de las teorías de este tipo de planificación son que dichas teorías son meramente especulativas, nada cuantificables y llenas de estereotipos. Horwill (1992), en un artículo titulado “Periodisation-Plausible or Piffle?”, señala que el lenguaje empleado en la teoría de la planificación del entrenamiento suele ser complicado de entender para los deportistas y los entrenadores porque la nomenclatura es compleja y el lenguaje impreciso.

La principal crítica que se puede hacer a estas bases teóricas de la planificación del entrenamiento es que dichas teorías no están demostradas científicamente ni tienen base biológica alguna. Dado que no hay bases científicas, la terminología de la planificación del entrenamiento está llena de contradicciones y se resiente. Otros teóricos de la planificación del entrenamiento, como Arosjev, Vorobiev, Verkhoshansky, Tschiene, Boiko, Bondarcuk, durante los años 70 y 80 han desarrollado, modificado y criticado las teorías de Matveev. Estas propuestas se centran principalmente en hacer el entrenamiento más específico, reducir la longitud de los ciclos de entrenamiento, individualizar la carga de entrenamiento y adaptarla a las características de los deportes.

En los años setenta la comunidad internacional del entrenamiento deportivo tomó conocimiento de los procesos de control de la carga de entrenamiento y de sus efectos en el organismo del atleta, lo que se venía aplicando en la antigua República Democrática Alemana y en la antigua Unión Soviética desde varios años antes. Mader, uno de los pioneros en las investigaciones realizadas en Leipzig (antigua RDA), divulga las interpretaciones del control del entrenamiento a través del proceso de registro de lactato sanguíneo, permitiendo establecer las zonas de intensidad de entrenamiento.

En los últimos años se ha incorporado el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT o HIIT) como procedimiento para la mejora del rendimiento en resistencia, debido a su alto efecto sobre la biogénesis de las mitocondrias y la oxidación, especialmente en sujetos entrenados. Este entrenamiento se caracteriza por esfuerzos cortos ($10''-5'$) a alta intensidad y tiempos de recuperación cortos.

En relación con el entrenamiento de la fuerza

La utilización del entrenamiento de fuerza como complemento del entrenamiento específico de otros deportes se empieza a popularizar a mediados del siglo pasado. A partir de los años sesenta y setenta se entabla el gran debate sobre usar o no usar este tipo de entrenamiento, ya que los detractores mantienen que el entrenamiento de fuerza “pone lento” al deportista.

Uno de los primeros investigadores que se interesó por la fisiología de la fuerza muscular fue Dudley Allen Sargent (1849-1924), médico entrenador de la Universidad de Harvard. Este investigador fue el creador del famoso test de salto vertical de Sargent, y proponía el uso de cargas muy ligeras para entrenar la fuerza.

A principios del siglo pasado, el fisiólogo británico A. V. Hill estableció la relación entre la tensión muscular y la velocidad de acortamiento del músculo o curva fuerza-velocidad, tan útil hoy día en la valoración de la condición física, del efecto del entrenamiento y del grado de fatiga.

En 1948 los médicos Thomas De Lorme y Arthur Watkins, trabajando con soldados que se recuperaban de las heridas sufridas en la II Guerra Mundial desarrollaron un programa de entrenamiento para superar la debilidad provocada por la atrofia típica en estos casos. Originalmente establecieron que la dosis necesaria para obtener resultados positivos estaba entre 70 y 100 repeticiones por ejercicio (la famosa 10x10RM), aunque después la corrigieron y la dejaron entre 20 y 30 repeticiones por ejercicio, lo que daría lugar a la fórmula de 3x10RM. El fisiólogo alemán Erich A. Müller y su compañero T. Hettinger contribuyeron al desarrollo del entrenamiento de fuerza cuando en 1953 observaron que el entrenamiento de tipo isométrico podía ser útil para el desarrollo de la fuerza. En los años sesenta, lo más representativo fueron los estudios de Richard A. Berg, quien realizó una serie de investigaciones durante varios años en las que buscó el estímulo óptimo para el entrenamiento de la fuerza.

Aunque sus estudios no hayan aparecido en publicaciones reconocidas como científicas por la comunidad internacional, podemos considerar que las aportaciones de Y. Verkhosansky durante la década de los años setenta fueron importantes para el avance del entrenamiento deportivo. Sus propuestas sobre la ubicación del entrenamiento de fuerza dentro del ciclo de entrenamiento, la utilización de los ejercicios llamados “pliométricos”, sus aportaciones sobre el estudio de la relación fuerza-tiempo-velocidad y la aplicación del análisis factorial para analizar los factores determinantes del

rendimiento deportivo han sido una referencia importante y han contribuido al desarrollo de la aplicación de la fuerza al entrenamiento de las distintas especialidades deportivas. Su obra más representativa quizás sea *Fundamentals of Special Strength-Training in Sport*, publicada en ruso en 1977 y traducida al inglés en 1986.

Posteriormente, toda la comunidad científica se ha interesado por los mecanismos que explican el desarrollo y manifestación de la fuerza y de sus posibles aplicaciones al entrenamiento deportivo. Se ha ido superando la fase en la que se consideraba que el entrenamiento de fuerza era perjudicial para los distintos deportes, y los entrenadores de casi la totalidad de las especialidades comenzaron a interesarse por la aplicación del entrenamiento de fuerza para mejorar los resultados específicos. Algunas instituciones de carácter científico, como por ejemplo el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM), el Colegio Europeo de Ciencias del Deporte (ECSC) y la Federación Internacional de Medicina del Deporte (IFSM) han contribuido al avance en estos estudios. En 1987, la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento (NSCA) de EEUU crea la revista *The Journal of Applied Sport Science Research*, que después pasará a denominarse *Journal of Strength and Conditioning Research*. Estas publicaciones se centran especialmente en las investigaciones relacionadas con el estudio de la fuerza y sus aplicaciones. Su objetivo es establecer un puente entre la investigación científica y la práctica.

A partir de los años 70 y 80 alcanza un gran impulso el desarrollo de los estudios sobre la fuerza y la potencia muscular. Autores como Edgerton, Gollnik y Saltin, con el análisis de la estructura muscular y la producción de potencia, fueron los responsables de muchos de los primeros estudios sobre las características de la fibra del músculo humano y su comportamiento durante el ejercicio, Komi, en el estudio del ciclo estiramiento-acortamiento, Sale, que ha contribuido al conocimiento de los efectos neurales sobre la producción de fuerza y potencia, los estudios de MacDougall, Edman, Herzog y Goldspink sobre las transformaciones musculares y la producción de potencia debidas al entrenamiento, los estudios de los efectos hormonales y neuromusculares del entrenamiento de fuerza de Kraemer y Häkkinen... y algunos otros han contribuido al avance del conocimiento sobre el entrenamiento de fuerza. Todos estos avances van paralelos a una forma de abordar el entrenamiento cada vez de manera más científica.

Recientemente hemos introducido la variable “velocidad” como referencia útil para el control, dosificación y valoración del efecto del entrenamiento (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010, Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011, González-Badillo et al 2014, Pareja-Blanco et al, 2014)

En relación con los avances en fisiología del ejercicio

El carácter científico del entrenamiento tiene que basarse en el conocimiento de la respuesta del organismo al esfuerzo que provoca la práctica del ejercicio físico. Esto se ha estudiado

especialmente en la disciplina denominada fisiología del ejercicio o del esfuerzo. Para una revisión más detallada, deben consultarse las monografía de Wilmore y Costil, 2004, McCarldy y col., 2010 y López-Calbet, 2006, que son las fuentes principales que hemos utilizado para este pequeño resumen.

Aunque los antiguos griegos, con Galeno, iniciaron el estudio de la función del cuerpo humano, no fue hasta el siglo XVI cuando se hicieron contribuciones verdaderamente significativas a la comprensión de su estructura y función. Un texto destacado de Andreas Vesalius, titulado *Estructura del cuerpo humano*, publicado en 1543, fue el inicio de la explicación de las funciones del mismo. Los anatomistas no descubrieron la existencia de fibras musculares individuales hasta que el científico holandés Antón van Leeuwenhoek introdujo el microscopio (sobre el año 1660). Pero no fue hasta mediados del siglo XX cuando se pudieron estudiar al microscopio los mecanismos de contracción de las proteínas musculares. Una publicación importante fue la de Lavoisier, que consideró que la utilización del oxígeno y la producción de dióxido de carbono tenían lugar en los pulmones. Estas ideas permanecieron vigentes hasta mediados del siglo XIX, cuando fisiólogos alemanes demostraron que la combustión ocurría en los tejidos de todo el cuerpo.

El primer libro de texto publicado sobre fisiología del esfuerzo fue escrito por Fernand LaGrange en 1889, titulado *Physiology of bodily exercise*. En este texto se habla de "trabajo muscular", "fatiga", "habitación al trabajo" y "la función del cerebro en el ejercicio". Un texto publicado posteriormente por F.A. Bainbridge titulado *The Physiology of Muscular Exercise*, actualizado posteriormente por A.V. Bock, y D. Bruce Dill, se considera el primer texto científico relacionado con la fisiología del ejercicio.

A principio del siglo XX, Walter Fletcher y Sir Frederick Gowland Hopkins observaron una estrecha relación entre la acción muscular y la formación de lactato. Esta observación hizo comprender que la energía para la acción muscular derivaba de la descomposición del glucógeno muscular en ácido láctico, aunque los detalles de esta reacción no se conocían.

En 1921, Archibald V. Hill fue galardonado con el premio Nobel por sus descubrimientos sobre el metabolismo energético (diferenciación del metabolismo aeróbico y anaeróbico). Se le atribuye la definición del concepto de consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) y el estudio de la importancia del mismo en el rendimiento en resistencia. Dichos estudios fueron posibles por las contribuciones técnicas de John S. Haldane, que desarrolló los métodos y el material necesarios para medir el uso de oxígeno durante el ejercicio.

Ningún otro laboratorio ha tenido tanto impacto en el campo de la fisiología del esfuerzo como el Harvard Fatigue Laboratory (HFL), fundado en 1927. La creación de este laboratorio se atribuye a Lawrence J. Henderson, quien nombró a un joven bioquímico de la universidad de Stanford, David Bruce Dill, como primer director. Los fisiólogos de este laboratorio estudiaron la fisiología del esfuerzo de resistencia y

describieron las exigencias físicas para tener éxito en eventos tales como las carreras de fondo. Se describió el efecto del envejecimiento sobre la frecuencia cardíaca máxima y sobre el consumo de oxígeno. Con el inicio de la segunda guerra mundial, Henderson y D. Bruce Dill publicaron las metodologías necesarias para la investigación militar aplicable. Esos métodos todavía están en uso en todo el mundo (Wilmore y Costil, 2004).

En los años treinta llegaron tres daneses para trabajar en el laboratorio de Harvard. Se trataba de Erik Hohwü-Christensen, Erling Asmussen y Marius Nielsen, que pasaron un tiempo estudiando el ejercicio con calor y a grandes alturas. Después de regresar a Escandinavia, cada uno estableció una línea separada de investigación. Asmussen estudió las propiedades mecánicas del músculo y Nielsen estudió el control de la temperatura corporal. A finales de los años treinta, Hohwü-Christensen formó equipo con Ole Hansen para dirigir y publicar una serie de cinco estudios sobre la metabolización de los hidratos de carbono y de las grasas durante el ejercicio. Estos estudios todavía se citan con frecuencia y se les incluye entre los primeros y más importantes estudios sobre nutrición deportiva. Howhü-Christensen introdujo a Per-Olof Åstrand en el campo de la fisiología del esfuerzo. Åstrand dirigió numerosos estudios relacionados con el estado de preparación física y con la capacidad de resistencia durante los años cincuenta y sesenta. Åstrand y Hohwü-Christensen fueron también los mentores de Bengt Saltin, uno de los más destacados contribuidores a nuestra comprensión del metabolismo de los músculos durante el ejercicio. Christensen y Åstrand colaboraron con fisiólogos del instituto Karolinska de Estocolmo, donde se estudiaban aplicaciones clínicas al ejercicio. Quizás una de las mayores aportaciones de este instituto fue el uso por primera vez de la extracción de muestras musculares para estudiar el consumo de glucógeno durante el esfuerzo y la restauración del mismo durante y después del ejercicio. Esto fue realizado en los años sesenta por J. Bergstrom (utilizando la “aguja de Bergstrom”) y E. Hultman. El uso de esta técnica (biopsias musculares) fue un punto clave en el estudio de la histoquímica y bioquímica muscular y para conocer las propiedades morfológicas, contráctiles y metabólicas del músculo. La supremacía que mantuvo el HFL entre 1927 y 1947, pasó a los laboratorios escandinavos a partir de los años cuarenta.

Muchos avances en la fisiología del esfuerzo deben atribuirse a mejoras en la tecnología. Por ejemplo, Hugh E. Huxley, en la década de los años 50, al utilizar el microscopio electrónico aportó un gran avance para explicar los mecanismos de la contracción muscular mediante el deslizamiento de los filamentos de actina y miosina en los músculos esqueléticos estriados. Por otro lado, el desarrollo en los años sesenta de los analizadores electrónicos para medir los gases respiratorios hizo que el estudio del metabolismo energético fuese mucho más fácil y productivo que antes. Esta tecnología y la radiotelemedicina, usadas para controlar la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal durante el ejercicio, se desarrollaron como resultado del programa espacial de los EE.UU.

A mediados de los años sesenta aparecieron dos bioquímicos que iban a causar un gran impacto en el campo de la fisiología del deporte, John Holloszy, de la Universidad Washington (San Luis) y Charles Tipton de la Universidad de Iowa, que emplearon por primera vez ratas y ratones para estudiar el metabolismo muscular y examinar los factores relacionados con el cansancio. Sus publicaciones han traído consigo un enfoque más bioquímico de la investigación sobre la fisiología del deporte.

Aproximadamente, en la misma época en que Bergstrom reintrodujo el procedimiento de la aguja para biopsias, surgió una nueva promoción de fisiólogos del esfuerzo, bien adiestrados como bioquímicos. En Estocolmo, Bengt Saltin colaboró con Bergstrom a finales de los años sesenta para estudiar los efectos de la dieta sobre la resistencia y la nutrición muscular. En aquellos días, Reggie Edgerton (Universidad de California, Los Angeles) y Phil Gollnick (Universidad Estatal de Washington) estaban usando ratas para estudiar las características de las fibras musculares individuales y sus reacciones al entrenamiento. Saltin y Gollnick fueron los responsables de muchos de los primeros estudios sobre las características de la fibra del músculo humano y su comportamiento durante el ejercicio.

La fisiología del esfuerzo ha facilitado conocimientos esenciales para la educación física, el *fitness* y la promoción de la salud. Peter Karpovich, un inmigrante ruso en EEUU, que había estado brevemente asociado con el HFL, jugó un papel determinante en la introducción de la fisiología en la educación física en EE.UU. Karpovich estableció sus propias instalaciones de investigación y enseñó fisiología en el Springfield College (Massachusetts) desde 1927 hasta su muerte en 1968. Aunque hizo numerosas contribuciones a la educación física y a la investigación de la fisiología del esfuerzo, se le recuerda mejor por los extraordinarios estudiantes a los que asesoró, incluyendo a C. Tipton y L. Rowell, dos investigadores condecorados por el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM).

Otro miembro de la facultad de Springfield, el entrenador de natación T.K. Cureton, creó un laboratorio de fisiología del esfuerzo en la Universidad de Illinois en 1941. Continuó sus investigaciones y enseñó a muchos de los líderes actuales *en fitness* y en fisiología del esfuerzo hasta su jubilación en 1971. Los programas de *fitness* desarrollados por Cureton y sus estudiantes y el libro de Kenneth Cooper de 1968, *Aerobics*, traducido y difundido en España, establecieron una base fisiológica para usar el ejercicio a fin de promover un estilo de vida sano.

Cuando se incluyó el maratón en los programas de competiciones atléticas (en los primeros Juegos Olímpicos modernos, en Atenas 1896), la posibilidad de que se provocase una hipoglucemia se convirtió en un interesante tema de investigación. De hecho, la hipoglucemia consecutiva a las carreras de maratón fue tratada en diversos artículos de los años veinte del siglo pasado (en Viru y Viru, 2001). Las investigaciones sobre energética muscular realizadas por Meyerhof y Hill orientaban el interés de la investigación hacia los cambios del lactato en sangre, y muy pronto, en los años treinta del siglo pasado, se publicarían diversos estudios sobre la acción del ejercicio sobre el

nivel de lactato. En este sentido, el interés se amplió a los cambios del pH sanguíneo y los sistemas tampón de la sangre evaluados a través de la reserva alcalina en sangre.

Los estudios bioquímicos llevados a cabo con el objetivo de informar a los entrenadores sobre cómo utilizar estos datos para mejorar el rendimiento aparecieron en la década de los cincuenta y sesenta. Los artículos de Yakovlev y su equipo fueron de los primeros en este sentido. Para hallar la carga óptima se analizaron los datos sobre los cambios del lactato durante los entrenamientos y las competiciones entre los jugadores que practicaban deportes de juego (deportes colectivos) y los remeros. El problema de la acidosis metabólica con el ejercicio deportivo intenso fue estudiado en profundidad por Kindermann y Keul en los años setenta.

Axel Urhausen y Wilfried Kindermann observaron que se podía obtener una valiosa información a través de los estudios hormonales. Se publicó un libro sobre Lasse Viren, (cuatro veces campeón olímpico en 5.000 y 10.000m, en 1972 y 1976), en el que se decía que se utilizó la respuesta hormonal sanguínea en las sesiones de entrenamiento para determinar la necesidad de incrementar la carga de trabajo. En la década de los ochenta, las respuestas de las hormonas sanguíneas fueron ampliamente investigadas en los deportistas de elite de la antigua Unión Soviética. Urhausen y Kindermann también señalaron la utilidad de los estudios inmunológicos y la valoración de la actividad enzimática en el plasma sanguíneo para controlar el entrenamiento.

En la actualidad se pone el énfasis en que el ejercicio consiste en una activación voluntaria del músculo esquelético. Esta activación provoca perturbaciones en las células, los tejidos y los órganos, los cuales responden con reacciones fisiológicas para contrarrestar las demandas energéticas provocadas por el ejercicio. Estas respuestas no son independientes unas de otras, sino que están interrelacionadas, demostrando una alta complejidad en su manifestación. El objetivo de la ciencia del entrenamiento y especialmente de la fisiología del ejercicio es desentrañar cuáles son las respuestas específicas a cada tipo de ejercicio, para unos determinados valores de intensidad, volumen y frecuencia de entrenamiento. Para ello se ha recurrido a la aplicación de las técnicas moleculares, las cuales han permitido importantes avances en el conocimiento de los mecanismos que permiten la mejora del rendimiento y de la salud tras la realización del ejercicio.

La activación muscular genera una serie de señales químicas, eléctricas y mecánicas que provocan una respuesta fisiológica múltiple que culmina en la degradación y expresión o síntesis de determinadas proteínas específicas que dan lugar a la adaptación del organismo al tipo de estímulo recibido. De esta manera, cuando se realizan ejercicios de alta intensidad y corta duración, lo que habitualmente se conoce como *ejercicios de fuerza*, tiende a producirse una hipertrofia muscular, que está regulada principalmente por una serie de proteínas como la IGF-1 (factor de crecimiento insulínico 1), AKT (proteína quinasa B) y mTOR (diana de rapamicina en las células de mamíferos). Mientras que si los ejercicios son de menor intensidad absoluta y prolongados, lo que habitualmente llamamos *entrenamiento de resistencia*, tiende a producirse un aumento

del número y grosor de las mitocondrias, que viene regulado principalmente por las proteínas AMPK (proteína quinasa activada por adenosina monofosfato) y PGC-1 α (coactivador de transcripción regulador de los genes implicados en la biogénesis de las mitocondrias y en el metabolismo). Ambos tipos de señales pueden interferir el desarrollo de las opuestas, especialmente la AMPK puede interferir la activación de mTOR.

La importancia del músculo esquelético en la adaptación a los estímulos es tal, que por sí mismo es capaz de cambiar sus funciones y su estructura como respuestas de adaptación. Actualmente se siguen descubriendo piezas estructurales claves para la función muscular de adaptación y, por tanto, para el rendimiento físico y deportivo. Entre estas estructuras se encuentra, por ejemplo, la “titina”, considerada como la proteína de mayor tamaño del organismo humano (~4 MDalton), que se comporta como un muelle no lineal con capacidad de cambiar sus propiedades físicas con la presencia del calcio iónico en el mioplasma. O la “miorregulina”, descubierta recientemente (Anderson et al., 2015), que al unirse a las bombas de calcio en el retículo plasmático disminuyen la capacidad contráctil. Animales knock-out, a los que se les ha inactivado el gen correspondiente a esta proteína aumentan el rendimiento físico sin necesidad de hipertrofia.

La dosificación de la carga de entrenamiento físico y deportivo como problema clave de la ciencia del entrenamiento

El estudio y desarrollo de la ciencia del entrenamiento físico y deportivo ha dado lugar a la formulación de una serie de *principios* de adaptación que deben respetarse para conseguir los mejores efectos derivados de la práctica del ejercicio físico. Uno de los más relevantes es el principio de *especificidad*, que nos indica que el efecto del entrenamiento se produce principalmente en el ejercicio que se entrena, pero también que para un mismo ejercicio el efecto es distinto en función de la intensidad y el volumen de trabajo, es decir, según el grado y tipo de carga que se aplica, la cual viene cuantificada por el grado y tipo de fatiga que origina.

Por tanto, la simple utilización de un determinado ejercicio no nos garantiza una adaptación adecuada, sino que es determinante la *dosificación* de la carga. Es de conocimiento común que el entrenamiento más apropiado (específico) para mejorar la fuerza muscular es realizar un ejercicio físico que genere una alta tensión muscular durante cortos periodos de tiempo y con frecuentes pausas de descanso entre esfuerzos, de la misma manera que el más adecuado para mejorar la resistencia será la realización de esfuerzos de menor intensidad y de duración media o alta. Si este conocimiento “común” fuera suficiente, estaría resuelta la mayoría de los problemas del entrenamiento, pero la evidencia indica que existe un gran *problema científico* sin resolver, que es la *dosificación de la carga*, el grado de esfuerzo que se exija y se genere en cada sesión de entrenamiento. Todas las personas que se dedican a entrenar a

otras personas lo que hacen –o deberían hacer–, una vez seleccionado el ejercicio, es dosificar el grado de esfuerzo o de fatiga que van a exigir a las personas entrenadas. Por tanto, los profesionales del entrenamiento son realmente “dosificadores de fatiga física”, y por ello “su problema” está en acertar con el grado de fatiga diario que programan.

Este problema será objeto de estudio y análisis de manera permanente, no sólo porque sea difícil encontrar cuál es la mejor dosis, sino porque los hechos indican que una misma dosis de entrenamiento (de ejercicio) no es la “mejor dosis” para todas las personas ni para la misma persona en todos los momentos. Esto nos lleva a la necesidad de contemplar otro de los principios del entrenamiento, como es la *individualización*, que nos indica que el entrenamiento (la dosis de ejercicio) debe adaptarse a las características y al estado actual (capacidad de rendimiento / capacidad de realización de carga) de cada persona o deportista.

Si en páginas anteriores hemos considerado el entrenamiento como un *sistema*, la dosis de entrenamiento o de ejercicio físico constituye la *señal de entrada* de dicho sistema. Esta señal de entrada, junto con las características de la persona entrenada, condiciona la *señal de salida*, que, naturalmente, consiste en el efecto producido como resultado de la interacción entre señal de entrada y la persona que realiza el ejercicio físico. El conocimiento y control de ambas señales es un factor clave sin el cual nunca podría alcanzarse el carácter científico del entrenamiento, ya que el entrenamiento deportivo como sistema, como ciencia, necesita de una información permanente acerca de los componentes y del desarrollo del propio sistema. Para cumplir con este requisito es necesario crear y elegir medios y métodos válidos para medir, cuantificar y evaluar el efecto (salida del sistema) y la carga que lo produce (entrada del sistema).

El ejercicio físico, la dosis de entrenamiento y el rendimiento físico

En los últimos años hemos introducido un procedimiento para el control de ambas señales. Esto se ha hecho a través del control de la velocidad de ejecución en entrenamientos orientados a la mejora de la fuerza utilizando cargas (pesos) externas. Lo primero que confirmamos fue una hipótesis formulada en los años ochenta y publicada en 1991 (González-Badillo, 1991), en la que proponíamos que cada porcentaje de una repetición máxima (máximo peso que se puede levantar) tenía su propia velocidad. Esto fue confirmado en el año 2000 y publicado en 2010 (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Este hallazgo ha permitido dar un gran avance en la resolución del problema de la dosificación de la carga de entrenamiento, ya que permite saber con alta precisión con qué intensidad relativa se está trabajando nada más hacer la primera repetición ante cualquier carga (peso) a la máxima velocidad posible.

Posteriormente confirmamos que la pérdida de velocidad en una serie (número de repeticiones que se hace con un peso sin descanso entre repeticiones) presenta una alta relación ($r = 0,97$) con la fatiga generada en la propia serie (Sánchez-Medina y

González-Badillo, 2011). Este hallazgo, junto con el indicado en el párrafo anterior, nos permite estimar de manera muy precisa la *dosis / grado de esfuerzo* realizado en una sesión de entrenamiento, ya que sabemos con qué *intensidad* se ha ejercitado la persona y el *grado de fatiga* alcanzado.

Una vez encontrado un procedimiento válido para cuantificar la dosis de entrenamiento, lo que procede es comprobar cuál es el efecto que produce cada *dosis de entrenamiento* o *dosis de fatiga*. Para ello hemos realizado una serie de estudios experimentales con dos objetivos: i) comprobar el efecto que produce realizar el desplazamiento de las cargas a la máxima velocidad posible o desplazar las mismas cargas relativas al 50% de la velocidad máxima, ii) comprobar el efecto de distintos grados de fatiga controlando (igualando) la intensidad del ejercicio.

En el primer grupo de estudios comprobamos que desplazar las mismas cargas relativas a la máxima velocidad posible ofrece mejores resultados que desplazarlas al 50% de dicha velocidad máxima (González-Badillo y col., 2014; Pareja-Blanco y col., 2014). Estos mayores beneficios no sólo se producen en el propio ejercicio de entrenamiento, sino que también son mayores sobre ejercicios no entrenados como el salto vertical, mostrando así un alto valor de transferencia. Estos resultados contradicen lo que se ha propuesto tradicionalmente en la literatura, en la que se aconseja realizar el desplazamiento de la carga a velocidad moderada de manera voluntaria para aumentar *el tiempo bajo tensión* muscular y obtener mayores mejoras en la fuerza.

En el segundo grupo de estudios hemos comprobado que cuando se llega a la máxima o casi máxima fatiga en la serie no se producen los mayores beneficios. Una fatiga moderada, cuantificada a través de una pérdida de velocidad en la serie entre el 10 y el 20% con respecto a la velocidad de la primera repetición en la serie, proporciona mejores resultados que una fatiga alta, con pérdidas superiores al 30%, (artículos en proceso de publicación). Estos resultados son de una importante aplicación práctica, ya que al obtener mayores beneficios con menor carga se ahorra tiempo, se reducen claramente el riesgo de lesión y la interferencia con otros tipos de entrenamiento.

El ejercicio físico, la dosis de entrenamiento y la salud

En las últimas décadas se ha confirmado que el músculo esquelético actúa como un órgano endocrino, que secreta proteínas (citoquinas), llamadas mioquinas por generarse en el músculo (Pedersen y Febbraio, 2012). Estas mioquinas tienen efecto sobre las propias células del músculo y sobre otros órganos. Esta “comunicación” del músculo con otros órganos como el tejido adiposo, el hígado, el páncreas, los huesos o el cerebro podría contribuir a explicar por qué el ejercicio físico tiene múltiples efectos positivos sobre la salud general del cuerpo (Hawley y col., 2014).

La inactividad física puede llevar a la reducción de la respuesta y del efecto de las mioquinas, lo cual podría explicar por qué la falta de actividad física incrementa el

riesgo de un conjunto de enfermedades relacionadas con la actividad de estas proteínas, incluyendo enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus 2, cáncer y osteoporosis (Pedersen y Febbraio, 2012)

De todas las mioquinas que se han detectado relacionadas con el ejercicio físico, la interleucina 6 (IL-6) parece ser que es la de mayor influencia. Existen diversas evidencias de que la IL-6 es producida por las células del músculo durante el ejercicio (Pedersen y Febbraio, 2012). La tasa de producción aumenta de manera rápida dentro de los 30 min posteriores a la realización del ejercicio, lo que sugiere que la producción de IL-6 está relacionada con la activación (contracción) muscular.

Por otra parte, el conocimiento más específico sobre los mecanismos por los cuales el ejercicio altera la función y el metabolismo en otros órganos, como el tejido adiposo, el hígado y el cerebro, indica que es necesario prescribir el ejercicio físico como terapia en forma de entrenamiento de resistencia y de fuerza (Pedersen y Febbraio, 2008).

El aumento del ejercicio tiende a mejorar la condición física expresada como reducción de la probabilidad de muerte para una determinada edad. El aumento del número de minutos en los que se anda, desde menos de 17 min hasta 60 min tiende a reducir de manera lineal el riesgo de muerte por cualquier causa, por enfermedad cerebrovascular y por diabetes (Williams y Thompson, 2013; Williams, 2013).

Sin embargo, a partir de determinados valores de carga, más entrenamiento no significa necesariamente mayor beneficio. En un estudio en el Centro de Estudio Aeróbico de Dallas, con 55.137 personas entre hombres y mujeres, de entre 18 y 100 años de edad, con una media de 44 años, durante un periodo de 15 años de seguimiento continuado, se observó que hasta correr entre 6 y 12 millas por semana (unos 10-20 km por semana), o hasta 3 días por semana o hasta entre 6,7 y 7,5 millas por hora (unos 10-12 km/h) tiende a reducir la muerte por enfermedades cardiovasculares, pero mayores dosis de entrenamiento de las indicadas no ofrecen mayor beneficio e incluso puede reducir el efecto positivo (Lee et al., 2014). La síntesis de estos estudios es que una actividad relativa moderada, en cuanto a distancia recorrida, velocidad y frecuencia de entrenamiento, es beneficiosa, pero no lo es una actividad superior o extrema. Entendemos, no obstante, que los valores concretos de dosis moderada de ejercicio deben adaptarse a la condición física de cada persona (individualización del ejercicio físico). Resultados semejantes se encontraron en un estudio con 16423 hombres y mujeres no corredores en comparación con 1878 corredores. Las edades estuvieron comprendidas entre 20 a 86 años, y eran todas personas que se encontraban sanas. Se hizo el seguimiento durante 35 años (1976-2011), y se observó que los corredores tuvieron un 44% menos de probabilidad de riesgo de muerte para la misma edad y una supervivencia superior en 6 años (Schnohr et al., 2013; O'Keefe et al. Heart, 2013). Pero dentro de los corredores, más de 2,5 horas de carrera por semana, o más de 3 días por semana o una velocidad superior a la moderada no produce mayores beneficios, llegándose a perder los efectos beneficiosos y acercándose o igualando el mismo riesgo de muerte que no hacer ejercicio. La intensidad moderada podría asociarse a alcanzar

una frecuencia cardiaca durante el ejercicio entre el 80 y el 85% de la frecuencia cardiaca máxima.

Conclusiones

El deporte-entrenamiento mantiene su dosis de “arte”, pero puede ser ciencia

Existe una relación curvilínea entre la carga de entrenamiento y el beneficio para la salud y para el rendimiento físico y deportivo

Sin el conocimiento de la señal de entrada (carga / magnitud y tipo de estímulo) y de la señal de salida (efecto) del sistema entrenamiento no hay ciencia en el deporte

El conocimiento de la magnitud de la carga física aplicada no es sólo una obligación del entrenador, sino, especialmente, un derecho de la persona entrenada

Propuestas, y especialmente descalificaciones de otras propuestas, sin datos que las justifiquen no tienen ningún valor científico

Bibliografía

Bertalanffy, L. (1976) Teoría general de los sistemas. México. FCE

Douglas M. Anderson, Kelly M. Anderson, Rhonda Bassel-Duby, Eric N. Olson A (2015) Micropeptide Encoded by a Putative Long Noncoding RNA Regulates Muscle Performance. *Cell* 160, 595–606

González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci*, 14, 772-781

González-Badillo, J.J. (1991). *Halterofilia*, Madrid. C.O.E

González-Badillo, J.J., Sánchez-Medina, L. (2010) Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *Int. J. Sports Med.* 31: 347-352

Hawley, John A., Mark Hargreaves, Michael J. Joyner, and Juleen R. Zierath (2014) Integrative Biology of Exercise. *Cell*. Vol 159, Issue 4, 6 November: 738–749.

Horwill, F. (1992) Periodisation-Plausible or Piffle? *Modern Athletic Coach* 30: 11-13

Lee, Duck-chul Russell R. Pate, Carl J. Lavie, Xuemei Sui, Timothy S. Church, Steven N. Blair (2014). Leisure-Time Running Reduces All-Cause and Cardiovascular Mortality Risk. *J.Am.Coll.Cardiol.* 64(5):472-81.

López-Calbet, J.A. (2008) Fisiología del ejercicio: concepto y revisión histórica, en J. López Chicharro y A. Fernández Vaquero, *Fisiología del ejercicio* (coordinadores) (3ª edición), capítulo 1: 1-32. Buenos Aires-Madrid. Panamericana.

McKardle, W., Katch, F.I., and Katch, V.L. (2010). *Exercise Physiology. Energy, nutrition, and Human Performance*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins

O'Keefe, James H. Carl J Lavie (2013) Run for your life...at a comfortable speed and not too far. *Heart*, 99(8): 588-590.

Pareja-Blanco, D. Rodríguez-Rosell, L. Sánchez-Medina, E. M. Gorostiaga, J. J. González-Badillo (2014) Effect of Movement Velocity during Resistance Training on Neuromuscular Performance. *Int. J. Sports Med.* 35, 916-924

Pedersen, B. K. & Febbraio, M. A. (2008) Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol. Rev.* 88, 1379–1406.

Pedersen, B.K. y Febbraio, M.A. (2012) Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol.* Apr 3; 8(8):457-65)

Peter Schnohr, Jacob L. Marott, Peter Lange, and Gorm B. Jensen (2013) Longevity in Male and Female Joggers: The Copenhagen City Heart Study. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 177 (7): 683-89.

Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 43 (9): 1725-1734.

Viru A. (1995) *Adaptation in sports training*. CRC

Viru A. y Viru, M. (2001). *Biochemical monitoring of sport training*. Champaign. IL: Human Kinetics.

Williams PT (2013) Dose-Response Relationship of Physical Activity to Premature and Total All-Cause and Cardiovascular Disease Mortality in Walkers. *PLoS ONE* 8(11): 1-12.

Williams PT, Thompson PD (2013) The Relationship of Walking Intensity to Total and Cause-Specific Mortality. Results from the National Walkers' Health Study. *PLoS ONE* 8(11): 1-10

Wilmore, J.H. y Costill, D.L. (2004) *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetic