PubliCE, (PubliCE) 2004

Research

Efectos del Entrenamiento de Alta Intensidad sobre el Rendimiento y la Fisiología de los Atletas de Resistencia

Carl D Paton[1] y Will G Hopkins[1]

[1]*Centre for Sport and Exercise Sciences, School of Human Sciences, John Moores University, Liverpool, England.*

RESUMEN

La mayoría de los atletas de resistencia utilizan el entrenamiento de alta intensidad para prepararse para las competencias. En esta revisión vamos a considerar los efectos del entrenamiento de alta intensidad y el entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia y las mediciones fisiológicas relacionadas en atletas de resistencia competitivos. *MÉTODOS*: hubo 22 estudios relevantes. Clasificamos el entrenamiento como entrenamiento fraccionado (supramáximo, máximo y submáximo) y entrenamiento de sobrecarga (incluyendo el entrenamiento explosivo, la pliometría y el entrenamiento con pesas). Convertimos todos los efectos sobre el rendimiento en porcentaje de cambio y en potencia media, e incluimos los efectos sobre las mediciones fisiológicas que tuvieron impacto sobre el rendimiento de resistencia. *HALLAZGOS*: Todos los estudios menos uno fueron realizados en las fases no competitivas de los programas de entrenamiento de los atletas, cuando no había o había pocos entrenamientos de alta intensidad. El rendimiento de resistencia de corta duración fue mejorado mayormente mediante la utilización de entrenamientos fraccionados supramáximos (~4%) y entrenamientos de la fuerza explosiva específica para el deporte (4-8%). El rendimiento de resistencia de larga duración fue mejorado en gran parte por medio de la utilización de intensidades máximas y supramáximas (~6%), si embargo el entrenamiento de sobrecarga tuvo poco efecto (~2%). El entrenamiento fraccionado tuvo sus efectos a través de mejoras en el consumo máximo de oxigeno, el umbral anaeróbico y en la economía, mientras que el entrenamiento de sobrecarga tuvo sus efectos principalmente a través de la mejora de la economía. Los efectos de algunas formas de entrenamiento de alta intensidad sobre el rendimiento o sobre la fisiología no fueron claros. *CONCLUSIONES*: La adición de entrenamiento de la fuerza explosiva y de entrenamientos fraccionados de alta intensidad a los programas de entrenamiento con intensidades generalmente bajas producirá ganancias substanciales en el rendimiento. Se necesitan más investigación para aclarar los efectos de varias formas de entrenamiento de alta intensidad sobre el rendimiento de resistencia; para determinar si ciertas formas específicas de entrenamiento de sobrecarga puede mejorar los déficits específicos de la fisiología de un atleta de resistencia, y para determinar los efectos de la combinación de las diversas formas de entrenamiento en programas periodizados.

Palabras Clave: aeróbico, umbral anaeróbico, economía, pliometría, sobrecarga, fuerza

INTRODUCCION

La resistencia en relación al rendimiento atlético ha sido definida de varias maneras. En este artículo hemos revisado los efectos del entrenamiento de alta intensidad no solo sobre el rendimiento atlético de resistencia sino también sobre los cambios subyacentes en el sistema de energía aeróbica. Por lo tanto la resistencia hace referencia a eventos sostenidos de alta intensidad donde la energía se suministra principalmente por medio del metabolismo aeróbico. Dichos eventos duran ~30 segundo o mas (Greenhaff and Timmons, 1998).

El entrenamiento para los atletas de resistencia generalmente hace énfasis en la realización de ejercicios de larga duración e intensidad baja o media durante a fase de preparación de base, con la inclusión de esfuerzos de corta duración y alta intensidad similares a los realizados durante la fase pre competitiva. Los efectos del entrenamiento de baja a moderada intensidad sobre la aptitud aeróbica están bien documentados (para una revisión ver Jones and Carter, 2000), sin embargo las revisiones acerca del entrenamiento de alta intensidad sobre el rendimiento aeróbico se han concentrado solamente en describir los efectos del entrenamiento de sobrecarga (Tanaka and Swensen, 1998); los efectos de el entrenamiento de la sobrecarga con corredores (Jung, 2003) y los diferentes tipo de entrenamiento fraccionado utilizado por los atletas (Billat, 2001a) y estudiados por los investigadores (Billat 2001b). Además, las revisiones previas han incluido los efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre sujetos desentrenados o recreacionalmente activos, por lo que los hallazgos pueden no ser aplicables a atletas competitivos. El propósito de esta revisión fue, por lo tanto, describir los efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre el rendimiento y sobre las características fisiológicas mas relevantes de los atletas de resistencia.

METODOS

Selección de los Estudios

Hemos identificado las publicaciones mas relevantes a través de previas revisiones y por medio de nuestra propia colección de referencias. Hallamos 22 artículos originales publicados en revistas arbitradas que tenían a atletas de resistencia como sujetos en estudios sobre los efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre el rendimiento o la fisiología. Hemos excluido los estudios en donde los sujetos eran individuos recreacionalmente activos o individuos cuyas características no eran consistentes con los de atletas competitivos, incluyendo los estudios de Daniels et al. (1978), Hickson et al. (1988), Tabata et al. (1996), Franch et al. (1998), y Norris and Petersen (1998). No realizamos una búsqueda sistemática en las bases de datos de SportDiscus o en Medline para estos artículos o para artículos que no estuvieran escritos en inglés, y tampoco incluimos datos contendidos en capítulos de libros.

Análisis del Entrenamiento

Asignamos el entrenamiento a dos categorías:

- Entrenamiento de sobrecarga: series de movimientos explosivos específicos del deporte realizados contra una resistencia; entrenamiento tradicional de pesas (movimientos lentos repetidos con pesas); entrenamiento de pesas explosivo, o pliometría y otros movimientos explosivos en donde la carga era solamente la masa corporal (Tabla 1).
- Entrenamiento fraccionado: intervalos únicos o repetidos de ejercicios específicos del deporte sin sobrecarga adicional (Tabla 2).

La clasificación de algunos estudios sobre entrenamiento de sobrecarga fue difícil, debido a la combinación de ejercicios o a la falta de detalles. En particular, todos los estudios que hemos clasificado como movimientos explosivos específicos del deporte probablemente incluían algún tipo de movimiento no explosivo y algo de pliometría.

Hemos clasificado la duración y la intensidad de los intervalos de la Tabla 2 como sigue: supramáximo (<2min), máximo (2-10min) y submáximo (>10min), donde el término “máximo” hace referencia a la intensidad correspondiente al máximo consumo de oxigeno (VO_2 máx.). Los intervalos supramáximos debieron haberse realizado con esfuerzo máximos; los intervalos máximos debieron haber comenzado con un esfuerzo menor al máximo, pero debieron acercarse al máximo hacia el final de cada intervalo; y los intervalos submáximos puede ser considerados como cercanos al umbral anaeróbico (un paso que puede ser sostenidos durante ~ 45 minutos), y el esfuerzo tuvo que haberse acercado al máximo al final de cada intervalo.

Estudio	Entrenamiento Experimental	Entrenamiento Control[a]
Movimientos Explosivos Específicos del Deporte realizados con Sobrecarga		
Hoff et al. (1999)	Esquí especifico, 3x 6RM, 7%; Fuerza general, 2%; resistencia, 70%; total 8.5 h. por semana	Resistencia , 72%; fuerza general, 13%; total 9.2 h por semana en la fase de preparación de base
Hoff et al. (2002)	Esquí específico , 3x 6RM, 7.5%, mas resistencia; total 9.6 h por semana	Principalmente resistencia con fuerza resistencia; total 10.1 h por semana en la pre temporada
Osteras et al. (2002)	Esquí específico, 3x 6RM, 5% del total de 15 h por semana	Resistencia + fuerza resistencia con pesas, total 15 h por semana en el período pre competitivo
Paavolainen et al. (1991)	Esquí específico, 34-42%; resistencia, 66-58%; total 6-9 sesiones por semana en la fase de preparación de base	Carreras de resistencia y esquí en roller (83%) + fuerza resistencia con pesas (17%); total 6-9 sesiones por semana en la fase de preparación de base
Paavolainen et al. (1999)	Carreras específicas, 32%; resistencia y circuitos 68%; 2-3 sesiones por semana; total 9.2 h por semana	Carreras de resistencia y circuitos, 97%; carreras específicas y fuerza explosiva, 3%; total 9.2 h por semana en la post temporada
Movimientos Específicos realizados con Sobrecarga		
Toussaint and Vervoorn (1990)	Sprints de natación realizados contra una resistencia durante 30 min, 3 veces por semana durante 10 semanas en la fase de competición, mas entrenamiento común (¿?) de natación	Igual que el grupo experimental pero sin sobrecarga adicional durante el entrenamiento de sprints
Entrenamiento de Pesa Explosivo no Específico del Deporte		
Bastiaans et al. (2001)	4 series de 30 repeticiones cada uno de ejercicios de sentadilla, prensa de piernas y subidas al step a una pierna durante 3.3 horas por semana, mas 5.5 horas por semana de ciclismo de resistencia	8.9 horas semanales de ciclismo de resistencia en la fase pre competitiva
Pliometría		
Spurrs et al. (2003)	2x 10 reps de 3-4 saltos, rebotes y saltos con una pierna, más de 60-80 km por semana de carreras de resistencia	60-80 km. por semana de carreras de resistencia, no se mencionó la fase de entrenamiento
Turner et al. (2003)	6 series de saltos, 3 días a la semana durante 6 semanas mas carreras tradicionales de resistencia de baja intensidad	Mínimo de 3 sesiones y carreras de 16 kilómetros por semana, no se especificó la intensidad ni la fase de entrenamiento
Entrenamiento Común de la Fuerza		
Bishop et al. (1999)	3-5 series de 2-8RM en sentadilla, mas entrenamiento tradicional de ciclismo	Ciclismo de resistencia realizado al final de la temporada, no se especificó la duración semanal.
Johnston et al. (1997)	2-3 series of 6-20RM, mas 32-48 km por semana de carreras de resistencia	32-48 km por semana de carreras de resistencia en la fase pre competitiva
Millet et al. (2002)	3-5 series of 3-5RM de 6 ejercicios para las extremidades inferiores 2 veces por semana durante 14 semanas, mas entrenamiento de la resistencia de control.	20 h por semana de carreras de resistencia, ciclismo y natación al <70 %VO_2max en la fase no competitiva de invierno in

Tabla 1. *Entrenamientos experimentales y de control en estudios acerca de los efectos del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad sobre el rendimiento en resistencia en atletas competitivos. RM, repeticiones máximas. a "Entrenamiento de la Resistencia" presumiblemente largas sesiones por debajo de la intensidad submáxima (debajo del umbral anaeróbico).*

Estudio	Entrenamiento Experimental	Entrenamiento previo y/o control[a]
Intervalos Submaximal		
Sjodin et al. (1982)	Carreras a la intensidad del umbral anaeróbico, 1 x 20 min, 1 sesión por semana durante 14 semanas, además del entrenamiento común.	Sin control; entrenamiento característico de invierno ~6.5 h por semana
Intervalos Máximos		
Acevedo and Goldfarb (1989)	Carreras ? x ? min, 1 sesión por semana, mas Fartlek (presumiblemente máximo) sesiones (8-19 km, 2 sesiones por semana durante 8 semanas)	Sin control; entrenamiento con carreras de (8-19km) 3-4 sesiones por semana
Billat et al. (1999)[b]	Carreras, 5 x 3 min, 1 sesión por semana, mas 2 x 20 min (submáximo), 1 sesión por semana reemplazando al entrenamiento característico	Sin control; entrenamiento de base de baja intensidad, no se específico la duración semanal
Laursen et al. (2002b)	ciclismo, 8 x 2.4 min con 4.8-min de pausa, 2 sesiones por semana, mas entrenamiento tradicional?	~10 h semanales de entrenamiento de la resistencia fuera de la temporada y en la fase de pre temporada
	Ciclismo, 8 x 2.4 min con pausas de 2- a 3-min, 2 sesiones por semana, mas entrenamiento tradicional?	
Lindsay et al. (1996)	Ciclismo, 6-8 x 5 min con pausas de 1 min, 1-2 sesiones por semana reemplazando el ~15% del entrenamiento tradicional	Sin control; entrenamiento característico de la fase de preparación de base usual ~300 km por semana
Smith et al. (1999)	Carreras , 5-6 x 2-3 min, 2 sesiones por semana durante 4 semanas mas 1 x 30 min por semana al 60% of VO_2max	Sin control, el entrenamiento previo no estaba claro.
Stepto et al. (1999)[c]	ciclismo, 4 x 8 min, 8 x 4 min, o 12 x 2 min con pausas de 1- a 3-min, 2 sesiones por semana, mas entrenamiento tradicional	Sin control; entrenamiento tradicional de la resistencia No se especificó la fase de entrenamiento . 230 km por semana
Westgarth-Taylor et al. (1997)	ciclismo, 6-9 x 5 min con pausas de 1 min, 2 sesiones por semana reemplazando el 15% del entrenamiento	Sin control; entrenamiento de la resistencia característico de la fase de preparación de base, no se especifico la duración semanal de
Weston et al. (1997)	Ciclismo, 6-8 x 5 min con pausas de 1 min, 1-2 sesiones por semana reemplazando el 5% del entrenamiento tradicional	Sin control; entrenamiento de la resistencia característico de la fase de preparación de base, ~290 km por semana
Intervalos Supramáximos		
Creer et al. (2004)	ciclismo, 4-10 x 30-s, 2 sesiones por semana durante 4 semanas mas 5 horas por semana de entrenamiento de la resistencia .	8 h por semana de entrenamiento de la resistencia
Laursen et al. (2002a)	ciclismo, 12-19 x 1 min, 2 sesiones por semana, mas 8 horas semanales de entrenamiento de base	Baja intensidad en la fase de preparación de base ~10 h por semana
Laursen et al. (2002b)	ciclismo, 12 x 30 s con pausas de 4.5-min, 2 sesiones semanales mas entrenamiento tradicional?	~10 h semanales de entrenamiento de la resistencia en la pretemporada y en la fase pre competitiva
Stepto et al. (1999)[b]	Ciclismo , 12 x 30 s con pausas de 4.5-min o 12 x 1 min con pausas de 4-min, 2 sesiones semanales mas entrenamiento tradicional	Sin control, entrenamiento tradicional de la resistencia, no se especificó la fase de entrenamiento, 230 km por semana.

Tabla 2. *Entrenamientos experimental y de control en estudios de los efectos del entrenamiento fraccionado de alta intensidad sobre el rendimiento de resistencia en atletas competitivos. a "Resistencia" los entrenamientos presumiblemente consistieron de sesiones largas con una intensidad debajo de la submáxima (por debajo del umbral anaeróbico) b se muestra en los apéndices 2-4 como intervalos submáximos y máximos c los cinco grupos de entrenamiento en este estudio fueron combinados en dos grupos para esta revisión.*

Una de las preocupaciones principales con todos los estudios revisados, excepto uno, es que los entrenamientos de alta intensidad fueron realizados en las fases no competitivas de la temporada de los atletas, cuando el entrenamiento era poco

intenso. Los autores que han monitoreado a los atletas de resistencia a través de una temporada han reportado incrementos substanciales en el rendimiento y cambios en las mediciones fisiológicas relacionadas a medida que los atletas progresan desde la fase de entrenamiento de base a la fase de entrenamiento competitivo (Barbeau et al., 1993; Lucia et al., 2000; Galy et al., 2003). En efecto, nuestras propias observaciones no publicadas muestran que los ciclistas bien entrenados a medida que progresan desde la fase de entrenamiento de base a la fase de entrenamiento competitivo, ordinariamente tienen una mejora en la producción de potencia de ~ 8% en pruebas contra reloj de laboratorio. Las grandes mejoras en el rendimiento observadas a medida que los atletas se acercan a la fase competitiva se producen debido a que los atletas normalmente incluyen entrenamientos de resistencia de alta intensidad como parte de su programa periodizado. Por lo tanto parece improbable que las grandes mejoras reportadas en estudios llevados a cabo durante una fase no competitiva pudieran ser de la misma magnitud a la que mostrarían si los estudios hubiesen sido realizados en la fase competitiva, cuando los atletas incluyen entrenamientos de alta intensidad a su programa de entrenamiento. En efecto, en el único estudio de entrenamiento que pudimos hallar que fue realizado durante la fase competitiva, Toussaint y Vervoorn (1990) hallaron que 10 semanas de entrenamiento de sobrecarga específico del deporte produjeron una mejora de ~ 1% en el tiempo de carrera en nadadores competitivos de nivel nacional. Aunque dichos incrementos parecen pequeños, son importantes para nadadores de elite (pyne et al 2004) y el cambio estimado de ~3% en la potencia es con certeza mayor que el ~0.5% que se considera importante en otros deportes de alto nivel (Hopkins et al 1999).

Análisis de Rendimiento

Las mediciones del rendimiento en competencias reales o simuladas son las mejores para evaluar los efectos del entrenamiento en atletas competitivos (Hopkins et al., 1999). Toussaint et al (1990) fueron los únicos investigadores que utilizaron el rendimiento competitivo en un estudio acerca del entrenamiento de alta intensidad. Los otros han adoptado, en cambio, test de laboratorio en ergómetros o tests de campo, los cuales pueden no reproducir el efecto motivante de la competición. El Apéndice 1 resume los efectos para pruebas contra reloj específicas del deporte y test a potencia constante, distribuidos, al igual que el entrenamiento fraccionado, en las mismas tres categorías de intensidad/duración. El Apéndice 2 resume los efectos sobre la potencia máxima en test progresivos. Para permitir la comparación de los efectos, hemos convertido los resultados de varios tests de rendimiento en porcentajes de cambio en la potencia media o máxima, utilizando los métodos de Hopkins et al (2001). Las notas al pie en los apéndices indican cuales mediciones necesitaron la conversión.

Análisis de los Efectos Fisiológicos

Las restantes tablas muestran los efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre las mediciones fisiológicas relacionadas al rendimiento de resistencia: consumo máximo de oxigeno (VO_2 máx., Apéndice 3), umbral anaeróbico, economía de ejercicio (Apéndice 4) y masa corporal (Apéndice 5). La mayoría de los eventos de resistencia son realizados a un paso casi constante, y para aquellos realizados a una intensidad por debajo del VO_2 máx., la potencia media de rendimiento o la velocidad es el producto del VO_2 máx., la fracción del VO_2 máx. sostenida, y la economía del sistema de energía aeróbico (di Prampero, 1986). Debido a que pueden ser medidos con suficiente precisión, los porcentajes de cambio en cada uno de estos componentes ameritan ser documentados, ya que se traducen directamente en porcentajes de cambio en la potencia de resistencia. Por supuesto, es probable que el entrenamiento produzca cambios en mas de uno de estos componentes, por lo tanto los investigadores que quieren identificar seriamente los mecanismos detrás de los cambios en el rendimiento deberían valorar los tres.

La mayoría de los autores de los estudios que revisamos midieron el VO_2 máx., comúnmente con un test progresivo. Algunos midieron la economía (trabajo realizado por litro de oxigeno consumido) a partir del VO_2 o en etapas intermedias de los test progresivo o a una tasa fija de trabajo en test separados. Para evitar las dificultades que pudieran surgir en la interpretación de los resultados debidas a los cambios en la masa corporal cuando el VO_2 se midió en ml/min/kg, hemos re-expresado los porcentajes de cambio en el VO_2 máx. y en la economía del VO_2 en L/min.

Ningún autor midió la fracción de VO_2 máx. sostenida durante los tests de resistencia (lo que requiere la medición del VO_2 a través del test), sin embargo algunos autores midieron el umbral anaeróbico, comúnmente por medio del análisis de la concentración del lactato sanguíneo durante un test progresivo. Dependiendo del método de medición, el umbral anaeróbico se produce a ~85% del VO_2 máx, una intensidad que el atleta puede sostener por unos ~ 30-60 minutos (Jones and Carter, 2000). Uno por lo tanto puede asumir que los porcentajes de cambio en el umbral anaeróbico pueden traducirse directamente en porcentajes de cambio de la fracción de VO_2 máx. utilizado en un evento submáximo. Los autores de dos estudios reportaron el umbral anaeróbico en unidades de potencia en lugar de en porcentaje del VO_2 máx.; en esta forma, la medición es efectivamente una medición neta del rendimiento submáximo de resistencia, con contribuciones del VO_2 máx., la fracción del VO_2 máx. utilizado y de la economía. Por lo tanto nosotros incluimos estas mediciones en el Apéndice 1 en el subgrupo de test submáximos.

La relevancia de los cambios en el umbral anaeróbico en relación a los cambios en el rendimiento de resistencia a intensidades máximas y supramáximas no es clara, pero para dichos eventos (de hasta ~ 10 minutos de duración) la capacidad anaeróbica hace una contribución substancial al rendimiento (Greenhaff and Timmons, 1998). Ninguno de los estudios que revisamos incluyó la potencia crítica u otro modelo de rendimiento para estimar la contribución de los cambios en la capacidad anaeróbica que resulta del entrenamiento de alta intensidad. Sin embargo, un medición práctica y mucho mas confiable de la capacidad anaeróbica es el rendimiento en sprints de hasta 30 segundos de duración los cuales hemos incluido como test supramáximos en el Apéndice 1.

La masa corporal es un factor determinante en el rendimiento de la carrera [Berg, 2003 #120] y presumiblemente en la mayoría de los deportes de resistencia de alta intensidad, dependiendo entre otras cosas de la distribución del cambio en la masa entre las extremidades activas y el resto del cuerpo; de la potencia requerida para acelerar y desacelerar continuamente las extremidades, y de la potencia para mover el resto del cuerpo contra la gravedad con cada ciclo de movimiento de las extremidades y sobre cualquier ondulación del terreno o sobre las colinas. La relación entre los cambios en la masa corporal y el rendimiento es por lo tanto difícil de predecir, pero no ha sido estudiada empíricamente para ningún deporte. Sin embargo, hemos incluido en el Apéndice 5 el porcentaje de cambio en la masa corporal de aquellos estudios en donde se ha reportado la masa corporal antes y después del entrenamiento de sobrecarga, debido a que esta forma de entrenamiento puede incrementar substancialmente la masa corporal a través del incremento en la masa muscular. Ninguno de los estudios de entrenamiento fraccionado proveyó suficientes datos como para estimar cambios en la masa corporal, presumiblemente debido a que no hubo cambios substanciales o debido a que los autores no consideraron que los cambios en la masa corporal fueran importantes para esta clase de entrenamiento.

HALLAZGOS

Los resultados de los estudios individuales se muestran en los Apéndices 1-5, al final de este artículo. La Tabla 3 representa un resumen derivado de los apéndices y justificado en las siguientes secciones.

	Entrenamiento Fraccionado			Entrenamiento de Sobrecarga [a]			
	Sub-máximo	Máximo	Supra-máximo	Explosivo específico del deporte	Explosivo no específico del deporte	Pliométrico	Tradicional de pesas
Potencia de Rendimiento							
Resistencia Submáxima		+++	+++	+	+		+/–
Resistencia Máxima		+		++		+	
Resistencia Supramáxima		0	++	++	++++		
Máxima progresiva		+++	++	++	+		0
Fisiología							
Consumo máximo de oxigeno	+	++	+	+/–		–	–
Umbral Anaeróbico	+	+++		++/–			0
Economía	+	+++		++++	++	+++	+
Masa Corporal				+	+	0	+

Tabla 3. *Resumen de los efectos del entrenamiento fraccionado de alta intensidad sobre el rendimiento y la fisiología de atletas de resistencia en la fase de entrenamiento no competitiva (baja intensidad). Clave de los efectos: ++++, 8% o mas; +++, 6% (5 a 7%); ++ 4% (3 a 5%); + 2% (1 a 3%), 0, 0% (-1 a 1%; -, -2% (-1 a –3%).*

El estudio realizado por Toussaint y Vervoorn (1990) acerca de los efectos del entrenamiento con movimientos no explosivos con resistencia sobre el rendimiento de nadadores en la fase competitiva del entrenamiento no fue incluido en

este resumen.

Nuestra interpretación de los apéndices fue precavida y tentativa, debido a que varios tipos rendimientos y de tests fisiológicos están representados desproporcionalmente por diferentes clases de entrenamientos. Por ejemplo, hubo solo un estudio de entrenamiento fraccionado puramente submáximo, y este no incluyo una medición de la potencia de rendimiento o de la potencia máxima en un test progresivo (Sjodin et al., 1982). Además, en los estudios de entrenamiento fraccionado se incluyó algún tipo de test submáximo pero esto no ocurrió en los estudios de entrenamiento de sobrecarga, mientras que en los estudios de sobre carga es mas probable que se hallan incluido algún tipo de test para valorar la economía. Las razones para dichos sesgos en la utilización o en el reporte de los resultados de los test no son claras. Los autores pudieron haber probablemente incluido tests o mediciones que ya habían mostrado producir un gran cambio. Además, algunos autores pudieron elegir no reportar efectos no significativos, o pudieron haber sido instruidos para que los eliminen del manuscrito por algún revisor o editor mal informado. Cuando se presentan dichos sesgos un meta análisis cuantitativo formal puede parcialmente mejorar la interpretación, pero hemos decidido no realizar un meta análisis cuando descubrimos que todos los estudios publicados, excepto uno, fueron realizados con atletas en la fase de entrenamiento de base. Un meta análisis no tendría en cuenta el tema principal para los atletas: ¿como contribuye cada clase de entrenamiento de alta intensidad al rendimiento teniendo en cuenta los antecedentes de otro entrenamiento de alta intensidad?. Esta revisión puede proveer solo evidencia sugestiva.

Rendimiento de Resistencia

El Apéndice 1 muestra que los intervalos máximos y supramáximos produjeron ganancias igualmente impresionantes (3.0-8.3%) sobre el rendimiento a intensidades submáximas. La magnitud de la mayor mejora (Westgarth-Taylor et al., 1997) probablemente se deba o a la variación en la muestra o a un error en los cálculos, ya que estos resultados no son consistentes con las menores ganancias (4.6 y 8.3%) halladas en dos estudios similares por el mismo grupo (Lindsay et al., 1996; Weston et al., 1997). El entrenamiento de la fuerza explosiva fue menos efectivo (0.3 y 1.0%) que el entrenamiento fraccionado en el mismo período de tiempo (~ 4 semanas), e incluso luego de 9 semanas las ganancias todavía no fueron tan grandes (2.9 y 4.0%) como las observadas con el entrenamiento fraccionado. En el único estudio acerca del efecto del entrenamiento tradicional de pesas sobre la resistencia submáxima, se observaron efectos opuestos sobre la potencia al umbral anaeróbico (2.6%) y la potencia en una prueba contra reloj (-1.8%) en los mismos sujetos luego de 12 semanas. Los autores sugirieron que los movimientos no específicos y la velocidad del entrenamiento con pesas explicaron el fallo en la mejora del rendimiento durante las pruebas contra reloj (Bishop et al., 1999).

Los movimientos explosivos específicos del deporte produjeron las mayores ganancias en los test máximos de resistencia (1.9-5.2%) luego de 8-9 semanas (Apéndice 1). Los intervalos máximos fueron menos efectivos (2.8%) aunque la duración del entrenamiento fue de solamente 4 semanas. Los saltos pliométricos fueron menos beneficiosos (1.2%).

No fue sorprendente, que el entrenamiento de alta intensidad produjera los mayores incrementos en los tests supramáximos (Apéndice 1). La gran ganancia observada con el entrenamiento explosivo con pesas (11%) fue mas del doble del observado con los intervalos supramáximos y con el entrenamiento explosivo específico del deporte (3.0-4.6%). Los intervalos máximos tuvieron poco efecto (0.4%).

Hubo solo un estudio que investigó los efectos de intervalos submáximos (Sjodin et al., 1982) y este no incluyó mediciones de la potencia de rendimiento. Los efectos sobre el VO_2 máx., el umbral anaeróbico y la economía en este estudio, si es que fueron aditivos, serían consistentes con una mejora de ~6% en la resistencia submáxima y posiblemente con una mejora del 2-4% en la resistencia supramáxima y máxima respectivamente.

Potencia Máxima Progresiva

Los intervalos de intensidad máxima parecen ser los más efectivos, en un entrenamiento de alta intensidad, para mejorar la potencia máxima progresiva (en un 2.5-7.0%; Apéndice 2). Las ganancias parecen ser menores con el entrenamiento de sobrecarga explosivo específico del deporte (2.3 y 6.0%) y con los intervalos supramáximos (1.0-4.7%) y posiblemente aun menores con el entrenamiento de pesas explosivo (2.0%). Notablemente, se alcanzó una ganancia del 4.7% en solo cuatro sesiones de intervalos supramáximos (Laursen et al 2002a).

Estas mejoras se transferirán al rendimiento en pruebas contra reloj hasta cierto punto, ya que la potencia máxima alcanzada en un test progresivo correlaciona bien con el rendimiento en pruebas contra reloj (Noakes et al., 1990; Hawley and Noakes, 1992; Bourdin et al., 2004). La extensión exacta de la transferencia dependerá de la duración de la prueba contra reloj. La mayor parte de los test progresivos son realizados a intensidades submáximas, pero en el último o en los últimos dos minutos la intensidad es máxima y supramáxima. El rendimiento en los tests estará por lo tanto determinada por la combinación del VO_2 máx., el umbral anaeróbico, la economía y la capacidad anaeróbica. Si la combinación no reproduce la de una prueba contra reloj, las mejoras en un o mas de los componentes producirá cambios en la potencia máxima progresiva que diferirán de aquellos observados en la prueba contra reloj.

Consumo Máximo de Oxigeno

A partir del Apéndice 3 es evidente que las mayores mejoras en el VO_2 máx. ocurrieron con el entrenamiento fraccionado de intensidad máxima (ganancias de 2.3-7.1%). Los intervalos supramáximos fueron probablemente menos efectivos (desmejora del 0.6% en un estudio, mejoras de 2.2% y 3.5% en otros dos estudios). Los cambios puede ocurrir rápidamente: Laursen et al (2002a) registraron un incremento del 3.5% luego de un total de solo cuatro sesiones de entrenamiento supramáximo llevado a cabo en dos semanas. El entrenamiento explosivo con pesas puede producir solo pequeñas ganancias (hasta un 2.0%), pero las diferentes formas de entrenamiento de sobrecarga han tenido un efecto predominantemente negativo sobre el VO_2 máx. Las mejoras en otras mediciones fisiológicas pueden compensar este efecto y resultar en una mejora neta en el rendimiento de resistencia luego del entrenamiento de sobrecarga.

Umbral Anaeróbico

A partir de los datos del Apéndice 4, no podemos extraer una conclusión definitiva acerca del efecto del entrenamiento explosivo de sobrecarga sobre el umbral anaeróbico, dado que hubieron grandes mejoras en tres estudios (5.0-7.1%) y substanciales desmejoras en otros dos estudios (2.0 y 2.1%). En el único estudio en donde presumiblemente se realizaron intervalos de intensidad máxima, la ganancia fue de ~5.0%, mientras que la ganancia fue menor (1.5%) en solo un estudio donde se realizaron intervalos de intensidad submáxima.

Economía

Aunque el incremento del 39% en la economía producido por el entrenamiento de sobrecarga explosivo específico del deporte, obtenido a partir de los datos el Apéndice 4 es casi con certeza erróneo, es claro a partir de otros estudios listados en la tabla que el entrenamiento explosivo de sobrecarga en general produce beneficios espectaculares (3.5-18%) sobre este parámetro de la resistencia. El entrenamiento pliométrico pude ser solo un poco menos efectivo (3.1-8.6%). Los efectos del entrenamiento fraccionado fueron los menores para la intensidad submáxima (2.8%) y los mayores para la combinación de intensidades submáxima y máxima (6.5%).

Masa Corporal

A partir de los datos del Apéndice 5 es razonablemente claro que el entrenamiento explosivo de sobrecarga incrementó la masa corporal en ~1%, presumiblemente a través del incremento en la masa muscular. Cualquier efecto dañino de este incremento en la masa corporal sobre el rendimiento no tuvo consecuencias, dado las grandes mejoras que esta forma de entrenamiento produjo en la producción de potencia de todas las duraciones. El entrenamiento tradicional de pesas puede producir incrementos en la masa corporal que son mayores (2.8 en un estudio) y por lo tanto tienen mayor posibilidad de producir desmejoras en el rendimiento de la resistencia en algunos deportes.

CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS PARA EL ENTRENAMIENTO

El entrenamiento fraccionado de alta intensidad y el entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad realizado durante la fase no competitiva de un programa de entrenamiento de un atleta de resistencia puede mejorar substancialmente el rendimiento y las mediciones fisiológicas relacionadas. El entrenamiento fraccionado a intensidades cercanas al VO_2 máx. (intervalos de 2-10min de duración) produce mejoras principalmente en el rendimiento submáximo (~ 6%), por medio de mejoras en los tres componentes del sistema aeróbico (VO_2 máx., umbral anaeróbico y economía). Los intervalos de mayor duración a menores intensidades tienen efectos poco claros pero posiblemente similares sobre el rendimiento, debido a sus efectos sobre los componentes del sistema aeróbico. El entrenamiento fraccionado de mayor intensidad (intervalos < 2 minutos) probablemente tienen un efecto similar sobre la resistencia submáxima y posiblemente menores efectos (~4%) para la resistencia de menor duración, pero la contribución de los componentes aeróbicos es poco clara. El entrenamiento de la fuerza explosiva produce ciertos efectos (~ 2%) sobre la resistencia submáxima, pero probablemente mayores efectos (4-8%) sobre la resistencia máxima y supramáxima. Los efectos del entrenamiento de la fuerza explosiva están mediados, al menos parcialmente, por incrementos en la economía, posiblemente por incrementos en el umbral anaeróbico, pero probablemente no por incrementos en el VO_2 máx. Los incrementos en la masa corporal con esta clase de entrenamiento no son un punto a tratar.

Muchos atletas de resistencia de alto nivel ya han incluido intervalos de alta intensidad en sus entrenamientos durante la fase no competitiva los que los ha llevado a incluirlos en la fase competitiva. Para estos atletas la adición de mas intervalos no es necesariamente una buena estrategia, en cambio puede ser beneficioso alterar la combinación de entrenamiento para reducir el volumen de intervalos de baja intensidad e incrementar el volumen de intervalos de alta intensidad. Los

atletas que no realizan en la actualidad entrenamientos de la fuerza explosiva específico del deporte con certeza experimentarán ganancias substanciales en su rendimiento incorporando esta forma de entrenamiento a sus programas.

Un efecto parcialmente selectivo de los diferentes tipos de entrenamiento sobre las mediciones fisiológicas promueve la posibilidad de prescribir el entrenamiento adecuado para corregir debilidades en estas mediciones. En base a la investigación existente uno puede tentativamente recomendar la incorporación o el incremento del volumen del entrenamiento de la fuerza explosiva para un atleta con pobre economía y/o pobre capacidad anaeróbica, e incorporar o incrementar el entrenamiento fraccionado máximo para un atleta con pobre VO_2 máx.

INVESTIGACIONES FUTURAS

Son necesarias más investigaciones para llenar los vacíos existentes en cuanto al conocimiento de los diferentes tipos de entrenamiento vs los efectos sobre el rendimiento y la fisiología. En particular:

- Es necesario saber mas acerca de los efectos no específicos del entrenamiento de sobrecarga (especialmente sobre la pliometría y el entrenamiento tradicional de pesas) sobre el rendimiento y sobre algunos aspectos de la fisiología.
- Los efectos de los intervalos supramáximos sobre el umbral anaeróbico y la economía requieren de mayor investigación.
- Los datos extraídos del único estudio acerca de los efectos fisiológicos de los intervalos submáximos necesitan aumentarse con estudios que incluyan mediciones del rendimiento.
- Las variedades del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad específico del deporte y del entrenamiento de sobrecarga no explosivo no han sido investigados más que en un solo estudio que fue llevado a cabo en la fase competitiva.

Las nuevas investigaciones nos proporcionarán una mayor comprensión de cómo cada tipo de entrenamiento de alta intensidad de forma aislada afectan el rendimiento de resistencia. Mas importante, nos proporcionará un mejor indicador de la posibilidad de prescribir el entrenamiento para corregir los déficits observados en el perfil fisiológico de un atleta. Estudios bien diseñados sobre la prescripción de entrenamiento individualizado podrán aclarar este tema.

Desde la perspectiva del atleta y del entrenador, la cuestión más importante es como combinar los varios tipos de entrenamiento de alta intensidad antes y durante la fase competitiva de la temporada. Hay actualmente solo un estudio de entrenamiento de alta intensidad en atletas durante la fase competitiva. Necesitamos más estudios y necesitamos estudios acerca de la periodización del entrenamiento de alta intensidad en las fases que llevan a la competición.

APENDICES

Apéndice 1

Efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre las mediciones del rendimiento de resistencia en atletas competitivos. El rendimiento es expresado como cambios en la potencia media en pruebas específicas del deporte o su equivalente. Los estudios están ordenado aproximadamente por la magnitud de los efectos dentro de cada intensidad/duración del test de resistencia.

Test de Rendimiento	Cambio en la Potencia (%)	Entrenamiento Experimental	Duración del Entrenamiento	Sujetos[a]	Referencias
Tests submáximos					
1-h 40-km ciclismo	12.4?[b]	Intervalos máximos (pausa corta)	12 sesiones en 6-7 semanas	8 M ciclistas	Westgarth-Taylor et al. (1997)
1-h 40-km ciclismo	~8.3	Intervalos máximos (pausa corta)	6 sesiones en 4 semanas	8 M ciclistas	Lindsay et al. (1996)
1-h 40-km ciclismo	4.6 a la 2 sem; 6.6 a la 4 sem[c]	Intervalos máximos (pausa corta)	2 sesiones por semana durante 4 semanas.	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
1-h 40-km ciclismo	3.2 a la 2 sem; 6.2 a la 4 sem[c]	Intervalos máximos (pausa larga)	2 sesiones por semana durante 4 semanas.	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
1-h 40-km ciclismo	2.7 a la 2 sem; 5.3 a la 4 sem[c]	Intervalos supramáximos	2 sesiones por semana durante 4 semanas.	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Ciclismo al umbral ventilatorio	4.7	Intervalos supramáximos	2 sesiones por semana durante 4 semanas.	7+7 M ciclistas	Laursen et al. (2002a)
1-h 40-km ciclismo	~4.6	Intervalos máximos (pausa corta	6 sesiones en 4 semanas	6 M ciclistas	Weston et al. (1997)
18-min 5-km carrera	0.3 a la 6 sem; 4.0 a la 9 sem	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
1-h 40-km ciclismo	3.4	Intervalos supramáximos	2 sesiones por semana durante 3 semanas	7 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
1-h 40-km ciclismo	3.0	Intervalos máximos	2 sesiones por semana durante 3 semanas	12 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
10-km carreras	3.0	Intervalos máximos	3 sesiones por semana durante 8 semanas	7 M ciclistas	Acevedo and Goldfarb (1989)
1-h ciclismo	1.0 a la 4 sem; 2.9 a la 9 sem	Fuerza explosiva con pesas	9 semanas	6+8 M ciclistas	Bastiaans et al. (2001)
Carreras a la D_{max} de lactato	2.6	Tradicional de pesas	2 sesiones por semana durante 12 semanas	14+7 F ciclistas	Bishop et al. (1999)
20-min carreras hasta el agotamiento	~1.2[d]	Intervalos máximos	3 sesiones por semana durante 8 semanas	7 M corredores	Acevedo and Goldfarb (1989)
1-h ciclismo	0.6 a la 6 sem; -1.8 a la 12 sem	Tradicional de pesas	2 sesiones por semana durante 12 semanas	14+7 F ciclistas	Bishop et al. (1999)

Tabla 4. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control, b)el valor de 12% en el artículo parece ser un incremento poco real (probablemente debería ser de ~5.3%), c) estos cambios en el tiempo de rendimiento observados en el ergómetro Cateye necesitan ser inflados por un factor desconocido (quizás 1.5x) para convertirlos en cambios en la potencia media, d) estimado a partir del incremento del 17% en el tiempo hasta el agotamiento utilizando los métodos de Hopkins et al (2001).*

Test de Rendimiento	Cambio en la potencia (%)	Entrenamiento Experimental	Duración del Entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Tests Máximos					
5-min esquí hasta el agotamiento	~5.2[b]	Movimientos Explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	10+9 M esquiadores de cross-country	Osteras et al. (2002)
5-min esquí hasta el agotamiento	~5.1[c]	Movimientos Explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	8+7 F esquiadores de cross-country	Hoff et al. (1999)
10-min 3-km carreras	2.8%	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	5 M corredores	Smith et al. (1999)
7-min esquí hasta el agotamiento	~1.9[d]	Movimientos Explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)
10-min 3-km carreras	1.2	Pliometría	2-3 sesiones semanales durante 6 semanas	8+9 M corredores	Spurrs et al. (2003)

Tabla 5. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control, b) estimado a partir del incremento del 51% en el tiempo hasta el agotamiento utilizando los métodos de Hopkins et al (2001), c) estimado a partir del incremento del 50% en el tiempo hasta el agotamiento utilizando los métodos de Hopkins et al (2001), d) estimado a partir del incremento del 26% en el tiempo hasta el agotamiento utilizando los métodos de Hopkins et al (2001).*

Test de Rendimiento	Porcentaje de Cambio (%)	Entrenamiento Experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Tests Supramáximos					
30-s ciclismo	10 a la 4 sem; 11 a la 9 sem	Fuerza Explosiva con pesas	9 semanas	6+8 M ciclistas	Bastiaans et al. (2001)
45-s ciclismo	4.6	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	7 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
30-s ciclismo	3.0	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	10+7 M ciclistas	Creer et al. (2004)
30-s a 2-min 50-a 200-m natación	~3.0[b]	Entrenamiento de la fuerza específico del deporte	3 sesiones semanales durante 10 semanas	11+11 M & F nadadores	Toussaint and Vervoorn (1990)
45-s ciclismo	0.4	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	12 M ciclistas	Stepto et al. (1999)

Tabla 6. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control , b) estimado a partir de la disminución del 0.8-1.1% en el tiempo de nado utilizando los métodos de Hopkins et al. (2001).*

Apéndice 2

Efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre la potencia máxima en un test progresivo en atletas competitivos. Los estudios están ordenados aproximadamente por la magnitud de su efecto.

Test de Rendimiento	Cambio en la potencia (%)	Entrenamiento Experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Ciclismo	2.1 a la 2 sem; 7.0 a la 4 sem	Intervalos máximos (pausa corta)	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Carreras Sprints	0.8 a la 3 sem; 3.5 a la 6 sem; 6.0 a la 9 sem	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
Ciclismo	3.1 a la 2 sem; 5.8 a la 4 sem	Intervalos máximos (pausas largas)	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Ciclismo	5.3	Intervalos máximos (pausas cortas)	6 sesiones en 4 semanas	8 M ciclistas	Lindsay et al. (1996)
Ciclismo	5.0	Intervalos máximos (pausas cortas)	12 sesiones en 6-7 semanas	8 M ciclistas	Westgarth-Taylor et al. (1997)
Carreras a la velocidad del VO_2max	4.8	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	5 M corredores	Smith et al. (1999)
Ciclismo	4.7	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 2 semanas	7+7 M ciclistas	Laursen et al. (2002a)
Ciclismo	0.7 a la 2 sem; 4.0 a la 4 sem	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Ciclismo	3.5	Intervalos máximos (pausas cortas)	6 sesiones en 28 días	6 M ciclistas	Weston et al. (1997)
Carreras a la velocidad del VO_2max	2.9	Intervalos máximos y submáximos	2 sesiones semanales en 4 semanas	8 M corredores	Billat et al. (1999)
Ciclismo	2.5	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	12 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
Carreras	0.9 a la 3 sem; 0.9 a la 6 sem; 2.3 a la 9 sem	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
Ciclismo	2.1 a la 4 sem 2.0 a la 9 sem	Fuerza explosiva con pesas	9 semanas	6+8 M ciclistas	Bastiaans et al. (2001)
Ciclismo	1.0	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	7 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
Carreras al velocidad del VO_2max	0.0	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 14 semanas	7+8 M triatletas	Millet et al. (2002)

Tabla 8. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control.*

Apéndice 3

Efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre el consumo máximo de oxigeno en atletas competitivos. Los estudios están ordenados aproximadamente por la magnitud de su efecto.

Test de Rendimiento	Cambio en el VO_2max (%)	Entrenamiento experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Ciclismo	2.6 a la 2 sem; 7.1 a la 4 sem	Intervalos máximos (pausas cortas)	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Carreras	4.9	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	5 M corredores	Smith et al. (1999)
Ciclismo	2.0 a la 2 sem; 4.4 a la 4 sem	Intervalos máximos (pausa larga)	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Ciclismo	3.5	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 2 semanas	7+7 M ciclistas	Laursen et al. (2002a)
Ciclismo	2.3	Intervalos máximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	12 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
Ciclismo	0.8 a la 2 sem; 2.2 a la 4 sem	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8+11 M ciclistas	Laursen et al. (2002b)
Carreras	2.2	Intervalos submáximos	1 sesión semanal durante 14 semanas	8 M corredores	Sjodin et al. (1982)
Carreras	2.1	Intervalos máximos y submáximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8 M corredores	Billat et al. (1999)
Esquí	2.0	Movimientos explosivos específicos del deporte	6 semanas	7+8 M esquiadores de cross-country	Paavolainen et al. (1991)
Esquí	3.4 a -3.9[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	8+7 F esquiadores de cross-country	Hoff et al. (1999)
Esquí	1.4[c]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)
Carreras	0.7	Intervalos máximos	3 sesiones semanales durante 8 semanas	7 M corredores	Acevedo and Goldfarb (1989)
Carreras	-0.3	Tradicional de pesas	3 sesiones semanales durante 10 semanas	6+6 F corredores	Johnston et al. (1997)
Carreras	-0.4	Pliometría	3 sesiones semanales durante 6 semanas	10+8 F+M corredores de subelite	Turner et al. (2003)
Ciclismo	-0.6	Intervalos supramáximos	2 sesiones semanales durante 3 semanas	7 M ciclistas	Stepto et al. (1999)
Carreras	-2.3[c]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)
Ciclismo	-2.4	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 12 semanas	14+7 F ciclistas	Bishop et al. (1999)
Carreras	-3.0	Pliometría	2-3 sesiones semanales durante 6 semanas	8+9 M corredores	Spurrs et al. (2003)
Carreras	-3.2	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 14 semanas	7+8 M triatletas	Millet et al. (2002)
Carreras	0.0 a la 3 sem; -3.4 a la 6 sem; -4.2 a la 9 sem	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
Esquí	-4.7	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	10+9 M esquiadores cross-country	Osteras et al. (2002)

Tabla 9. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control, b) amplia inconsistencia entre el VO_2 in $L.min^{-1}$, $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ y $ml.min^{-1}.kg^{-0.67}$ probablemente debido al incremento de ~3% en la masa corporal del grupo entrenamiento de la fuerza, c) estimado a*

partir del VO_2 in $ml.min_{-1}.kg_{-1}$ adicionando el 0.2% al cambio en la masa corporal.

Apéndice 4

Efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre el umbral anaeróbico (sobre el consumo de oxigeno como porcentaje del VO_2 máx.) y sobre la economía de ejercicio. Los estudios están ordenados aproximadamente por la magnitud de su efecto en cada medición.

Test de rendimiento	Cambio en la medición (%)	Entrenamiento experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Umbral Anaeróbico					
Esquiar al VO_2 con 1.8 mM de lactato por encima del basal	7.1[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	10+9 M esquiadores de cross-country	Osteras et al. (2002)
Carreras al VO_2 con un incremento en el lactato	6.8[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
Carreras al VO_2 con 2.5 & 4 mM	5.3 & 4.9	Intervalos máximos	3 sesiones semanales durante 8 semanas	7 M corredores	Acevedo and Goldfarb (1989)
Esquiar al VO_2 con 1.8 mM de lactato por encima del basal	5.0[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)
Correr al VO_2 con 4mM lactate	1.5	Intervalos submáximos	1 sesión semanal durante 14 semanas	8 M corredores	Sjodin et al. (1982)
Correr al VO_2 en el umbral ventilatorio	0.2	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 14 semanas	7+8 M triatletas	Millet et al. (2002)
esquiar al VO_2 con ~2 y ~4 mM de lactato	-2.0[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	6 semanas	7+8 M esquiadores de cross-country	Paavolainen et al. (1991)
Correr al VO_2 con 1.8 mM de lactato por encima del basal	-2.1[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)

Tabla 10. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control, m) estimado por medio de la combinación del porcentaje de cambio en el VO_2 medio y en el VO_2 max medio.*

Test de rendimiento	Cambio en la medición (%)	Entrenamiento experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
Economía [b]					
Esquiar al VO_2max	39?[c]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	8+7 F esquiadores de cross-country	Hoff et al. (1999)
Esquiar a 10.9 $km.h^{-1}$	18	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)
Correr al 75% VO_2max	15?[d]	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 14 semanas	7+8 M triatletas	Millet et al. (2002)
Esquiar al umbral anaeróbico	13	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	10+9 M esquiadores de cross-country	Osteras et al. (2002)
Correr a 15 $km.h^{-1}$	7.8 a la 3 sem; 7.0 a la 6 sem; 8.6 a la 9 sem[e]	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
correr a 12, 14 y a 16 $km.h^{-1}$	7.6, 6.2 y 4.9	Pliometría	2-3^{-1} sesiones semanales durante 6 semanas	8+9 M corredores	Spurrs et al. (2003)
Correr a 14 $km.h^{-1}$	6.5	Intervalos submáximos y máximos	2 sesiones semanales durante 4 semanas	8 M corredores	Billat et al. (1999)
Pedalear al 50-70% VO_2max	4.1 a la 4 sem; 3.5 a la 9 sem	Fuerza explosiva con pesas	9 semanas	6+8 M ciclistas	Bastiaans et al. (2001)
Correr a 15 $km.h^{-1}$	2.8	Intervalos submáximos	1 sesión semanal durante 14 semanas	8 M corredores	Sjodin et al. (1982)
correr (a varias velocidades)	3.1	Pliometría	3 sesiones semanales durante 6 semanas	10+8 F+M corredores	Turner et al. (2003)
Correr a 12.8 y 13.8 $km.h^{-1}$	1.7 and 1.2	Tradicional de pesas	3 sesiones semanales durante 10 semanas	6+6 F corredores	Johnston et al. (1997)

Tabla 11. *a) número de sujetos en los grupos experimental + control, b) expresado como porcentaje de cambio en la producción de trabajo por litro de oxigeno consumido, c) el valor de 39% en el artículo no es real, d) el incremento del 15% en la economía no es consistente con un incremento asociado en al frecuencia cardíaca y el no cambio en la velocidad al VO_2 max; la desviación estándar de la economía es consistente con un valor atípico o con un error del analizador de gases portátil, e) estimado a partir del VO_2 expresado en ml.min-1.kg-1. El valor en la semana 9 fue corregido substrayendo el 1.7% del cambio en la masa corporal. Los valores de las semanas 3 y 6 no fueron corregidos debido a que se desconocen los cambios en la masa corporal.*

Apéndice 5

Efectos del entrenamiento de alta intensidad sobre la masa corporal en atletas competitivos. Los estudios están ordenados aproximadamente por la magnitud de su efecto.

Test de rendimiento	Cambio en la masa (%)	Entrenamiento experimental	Duración del entrenamiento	Sujetos [a]	Referencia
-	2.8	Tradicional de pesas	3 sesiones semanales durante 10 semanas	6+6 F corredores	Johnston et al. (1997)
-	1.7	Movimientos explosivos específicos del deporte	9 semanas	12+10 M corredores de elite	Paavolainen et al. (1999)
-	~1.5[b]	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	10+9 M esquiadores de cross-country	Osteras et al. (2002)
-	1.3[c]	Fuerza explosiva con pesas	9 semanas	6+8 M ciclistas	Bastiaans et al. (2001)
-	0.8	Movimientos explosivos específicos del deporte	6 semanas	7+8 M esquiadores de cross-country	Paavolainen et al. (1991)
-	0.8	Tradicional de pesas	2 sesiones semanales durante 12 semanas	14+7 F ciclistas	Bishop et al. (1999)
-	0.6	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 9 semanas	8+7 F esquiadores de cross-country	Hoff et al. (1999)
-	0.3	Pliometría	2-3 sesiones semanales durante 6 semanas	8+9 M corredores	Spurrs et al. (2003)
-	0.2	Movimientos explosivos específicos del deporte	3 sesiones semanales durante 8 semanas	9+10 M esquiadores de cross-country	Hoff et al. (2002)

***Tabla 12**. a) número de sujetos en los grupos experimental + control, b) estimado por la combinación de los datos del VO_2 en $L.min^{-1}$ y en $ml.min^{-1}.kg^{-1}$, c) cambio en la masa magra corporal.*

REFERENCIAS

1. Acevedo EO, Goldfarb AH (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 21, 563-568*
2. Barbeau P, Serresse O, Boulay MR (1993). Using maximal and submaximal aerobic variables to monitor elite cyclists during a season. *Medicine and Science in Sports and Exercise 25, 1062-1069*
3. Bastiaans JJ, van_Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology 86, 79-84*
4. Billat V (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Part1: Aerobic interval training. Sports Medicine 31, 13-31*
5. Billat V (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Part 2: Anaerobic interval training. Sports Medicine 31, 75-90*
6. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein J (1999). Interval training at VO2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 156-163*
7. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 886-891*
8. Bourdin M, Messonnier L, Hager JP, Lacour JR (2004). Peak power output predicts rowing ergometer performance in elite rowers. *International Journal of Sports Medicine 25, 368-373*
9. Creer AR, Ricard MD, Conlee RK, Hoyt GL, Parcell AC (2004). Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine 25, 92-98*
10. Daniels JT, Yarbrough RA, Foster C (1978). Changes in VO2max and running performance with training. *European Journal of Applied Physiology 39, 249-254*

11. di Prampero PE (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine 7, 55-72*
12. Franch J, Madsen K, Mogens SD, Pedersen PK (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30, 1250-1256*
13. Galy O, Manetta J, Coste O, Maimoun L, Chamari K, Hue O (2003). Maximal oxygen uptake and power of lower limbs during a competitive season in triathletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 13, 185-193*
14. Greenhaff PL, Timmons JA (1998). Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction. *Exercise and Sport Sciences Reviews 26, 1-30*
15. Hawley JA, Noakes TD (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology 65, 79-83*
16. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT, Foster C (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology 65, 2285-2290*
17. Hoff J, Gran A, Helgerud J (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 12, 288-295*
18. Hoff J, Helgerud J, Wisloff U (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 870-877*
19. Hopkins WG, Hawley JA, Burke LM (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 472-485*
20. Hopkins WG, Schabort EJ, Hawley JA (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine 31, 211-234*
21. Johnston RE, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman NB (1997). Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research 11, 224-229*
22. Jones AM, Carter HC (2000). The effects of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine 29, 373-386*
23. Jung AP (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Medicine 33, 539-552*
24. Laursen PB, Blanchard MA, Jenkins DG (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology 27, 336-348*
25. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise 34, 1801-1807*
26. Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh K, H., Helgo SH, Noakes TD, Dennis SC (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise 28, 1427-1434*
27. Lucia A, Hoyos J, Perez M, Chicharro J (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32, 1777-1782*
28. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise 34, 1351-1359*
29. Noakes TD, Myburgh KH, Schall R (1990). Peak treadmill running velocity during the VO2max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences 8, 35-45*
30. Norris SR, Petersen SR (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *Journal of Sports Sciences 16, 733-738*
31. Osteras H, Helgerud J, Hoff J (2002). Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal of Applied Physiology 88, 255-263*
32. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology 86, 1527-1533*
33. Paavolainen L, Hakkinen K, Rusko H (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology 62, 251-255*
34. Pyne D, Trewin C, Hopkins W (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences 22, 613-620*
35. Sjodin B, Jacobs I, Svendenhag J (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training. *European Journal of Applied Physiology 49, 45-57*
36. Smith TP, McNaughton LR, Marshall K, J (1999). Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO2max and performance in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 892-896*
37. Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology 89, 1-7*
38. Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 736-741*
39. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki YH, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO2 Max. *Medicine and Science in Sports and Exercise 28, 1327-1330*
40. Tanaka H, Swensen T (1998). Impact of resistance training on endurance performance: a new form of cross training?. *Sports Medicine 25, 191-200*
41. Toussaint HM, Vervoorn K (1990). Effects of high resistance training in the water on competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine 11, 228-233*
42. Turner AM, Owimngs M, Schwane JA (2003). Improvements in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research 17, 60-67*
43. Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SD (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology 75, 298-304*
44. Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European Journal of Applied*

Physiology 75, 7-13