

Monograph

Los Atletas de Resistencia ¿Deberían Suplementar su Programa de Entrenamiento con un Programa de Entrenamiento con Sobrecarga para Mejorar su Rendimiento?

Paul B Laursen¹, Sheree E Chiswell² y Jessica A Callaghan²

¹Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia, Australia.

²The University of Ballarat, Ballarat, Victoria, Australia.

RESUMEN

Esta revisión examina los efectos del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre el rendimiento y sobre diversas variables fisiológicas entre las que se incluyen el consumo máximo de oxígeno, el umbral de lactato, la economía de movimiento, el cambio en los tipos de fibras y la rigidez muscular. Además, en base a esta información, se presentarán algunas recomendaciones prácticas para los profesionales del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento.

Palabras Clave: entrenamiento con sobrecarga, entrenamiento de la fuerza, resistencia, rendimiento

INTRODUCCION

Un tema de controversia entre los entrenadores y preparadores físicos del atletismo es si el entrenamiento de la fuerza debe o no adicionarse a los programas de entrenamiento de los atletas de resistencia. Esta discrepancia surge a partir del conocimiento de las diferentes respuestas adaptativas provocadas por los programas de entrenamiento de la fuerza y la resistencia cuando se llevan a cabo en forma independiente (para una reciente revisión, ver Tanaka y Swensen [28] y Jung [16]). El entrenamiento de la fuerza característicamente implica la utilización de cargas altas (con frecuencia casi máximas) y pocas repeticiones, lo que mejora la producción de energía anaeróbica y la capacidad de fuerza de las fibras musculares reclutadas. A la inversa, el entrenamiento de la resistencia característicamente implica la utilización de una carga baja, con un gran volumen de repeticiones, lo cual mejora la capacidad de producir energía por la vía aeróbica de las fibras musculares entrenadas. En una primera inspección, para aquellos atletas que buscan incrementar su capacidad de resistencia, parecería que el entrenamiento con sobrecarga viola el principio de la especificidad.

A pesar de los requerimientos de energía producida por la vía aeróbica durante los eventos de resistencia, la producción de energía anaeróbica también desempeña un papel importante en el rendimiento de atletas de resistencia altamente entrenados (5). En los momentos críticos, durante los eventos de resistencia, tales como los ascensos, aumentos en el ritmo de carrera y los esprints finales, los atletas de resistencia pueden tener cierta ventaja sobre sus oponentes si tienen un

sistema de producción de energía anaeróbica bien desarrollado. En efecto, Bulbulian et al (5), han mostrado que la capacidad anaeróbica desempeña un rol importante para el rendimiento de carrera. Por lo tanto, para alcanzar el éxito en los eventos de resistencia, en donde el rendimiento de los atletas se diferencia por márgenes mínimos (12), los atletas de resistencia pueden beneficiarse de tener un sistema anaeróbico bien entrenado.

Se han llevado a cabo un gran número de investigaciones en relación a los efectos del entrenamiento con sobrecarga y el entrenamiento de la resistencia por si solos tienen sobre el rendimiento y las variables fisiológicas asociadas (para una revisión de los temas relacionados con esto, ver Jones y Carter [15] y McComas [21]). En contraste, los datos que describen la compatibilidad de estos dos modos de entrenamiento son escasos. Para confundir las cosas aun más, en algunos estudios que han examinado el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia se han hallado mejoras en el rendimiento en corredores bien entrenados (24), en esquiadores de cross country (11) pero no en ciclistas (3).

La naturaleza de la respuesta adaptativa al entrenamiento siempre es específica del estímulo de entrenamiento. Esto hace aun más difícil determinar la influencia que puede tener el entrenamiento con sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia y sus variables fisiológicas asociadas. De particular interés es comprender de que manera el entrenamiento con sobrecarga impacta aquellos factores que afectan principalmente el rendimiento de resistencia, es decir el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$), el umbral de lactato y la economía de carrera (15, 18). Si se afecta negativamente cualquiera de estos factores probablemente se afectará negativamente el rendimiento del individuo. La influencia que el entrenamiento con sobrecarga tiene sobre la composición fisiológica de las fibras musculares (i.e., el tipo de fibras musculares) y sobre los factores neurales (i.e., el funcionamiento de las unidades motoras) también es de interés en relación con el rendimiento de resistencia. Las investigaciones llevadas a cabo para estudiar estas respuestas fisiológicas proveen información útil para asistir a los preparadores físicos en la comprensión los efectos que puede provocar el entrenamiento con sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia. Por lo tanto, el propósito de esta revisión es examinar la literatura relevante referente a los efectos del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre el rendimiento de resistencia y las variables asociadas; entre las que se incluyen el $VO_{2\text{máx}}$, el umbral de lactato, la economía de movimiento, los cambios en los tipos de fibras musculares y la rigidez muscular.

Consumo Máximo de Oxígeno $VO_{2\text{máx}}$

El $VO_{2\text{máx}}$ hace referencia a la mayor tasa a la cual el cuerpo puede consumir y utilizar oxígeno, y se reconoce que este parámetro es uno de los principales factores de predicción del rendimiento de resistencia en la población general (15). El $VO_{2\text{máx}}$ es limitado por la capacidad del corazón para bombear sangre hacia los músculos activos y por la capacidad de los músculos para extraer oxígeno de la sangre suministrada (13). Los atletas de resistencia normalmente poseen altos valores de $VO_{2\text{máx}}$, y entrenan para incrementar los valores de esta variable (17). Las mejoras en el $VO_{2\text{máx}}$ están asociadas con el incremento en el gasto cardíaco y en el volumen sanguíneo, lo cual sirve para incrementar el transporte de oxígeno hacia los músculos activos (15). Las adaptaciones fisiológicas características que se producen con el entrenamiento de sobrecarga incluyen el incremento en la masa corporal, el incremento en el tamaño de las fibras de contracción rápida y la reducción de la actividad de las enzimas oxidativas (27). Estas alteraciones tienen el potencial de reducir el rendimiento de resistencia adicionando masa muscular y reduciendo la capacidad para utilizar efectivamente el oxígeno disponible. Consecuentemente, muchos atletas de resistencia pueden elegir evitar el entrenamiento con sobrecarga por miedo a observar reducciones en su rendimiento. Si bien el $VO_{2\text{máx}}$ es un buen índice de la capacidad aeróbica de un individuo, no es un pronosticador perfecto del rendimiento de resistencia (15). En este contexto, el rendimiento de resistencia se define como el tiempo necesario para completar una distancia dada, y en donde el tiempo para completar la distancia requerida puede variar entre los 2 minutos y las 4 horas (8). Hickson y colaboradores (10) mostraron que el entrenamiento con sobrecarga (5 días/semana, durante 10 semanas realizando 5 series de 5 repeticiones máximas [RM] de sentadillas, prensa de piernas y elevaciones de talones) mejoró significativamente el rendimiento de resistencia tanto durante el ejercicio de ciclismo (47%) como durante el ejercicio en cinta ergométrica (12%) en 9 sujetos desentrenados, a pesar de no observarse cambios en el $VO_{2\text{máx}}$ (~48 mL/kg/min). Los autores sugirieron que la mejora en el rendimiento estuvo relacionada con el incremento en la fuerza y la potencia muscular. Sin embargo, en un subsiguiente estudio Hickson et al (16) no hallaron cambios en el rendimiento de ciclismo y carrera, ni tampoco un incremento en el $VO_{2\text{máx}}$ luego de un programa de entrenamiento con sobrecarga (3 días/semana, 10 semanas, 3-5 series de 5RM en los ejercicios de sentadillas, prensa de piernas y elevaciones de talones) en un grupo de sujetos varones bien entrenados ($VO_{2\text{máx}} \approx 60$ mL/kg/min). Johnston y colaboradores (14) tampoco hallaron cambios en el $VO_{2\text{máx}}$ en un grupo de mujeres corredoras de distancia que incorporaron un programa de entrenamiento con sobrecarga (3 días/semana, 10 semanas, 2 series de 12-20 RM en los ejercicios de sentadillas, prensa de piernas, curl de bíceps martillo, abdominales con carga, estocadas, elevaciones de talones con rodillas flexionadas y press de banca) a su programa normal de entrenamiento de la resistencia durante diez semanas. La observación de que el $VO_{2\text{máx}}$ no cambia luego del entrenamiento con sobrecarga ha sido confirmada por Bishop et al (3), Paavolainen et al (24) y Hoff et al (11). Por lo tanto parece que, cuando se realizan conjuntamente el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza en individuos bien entrenados, no se producen mejoras en el $VO_{2\text{máx}}$ más allá de los valores que se alcanzan solo con el entrenamiento de la resistencia. Esto no es sorprendente

considerando que una sesión aguda de entrenamiento con sobrecarga característicamente induce un consumo de oxígeno menor al 50% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (20), y el estímulo para mejorar el $\text{VO}_2\text{máx}$ en atletas de resistencia bien entrenados debería ser mucho mayor (17). De esta manera, si en efecto el rendimiento de resistencia mejora a través de la adición de un programa de entrenamiento con sobrecarga, esto no parece ocurrir a través del incremento en el $\text{VO}_2\text{máx}$. Es importante señalar, sin embargo, que aunque el entrenamiento con sobrecarga no mejora el $\text{VO}_2\text{máx}$, no existe evidencia para sugerir que el entrenamiento con sobrecarga empeorará el $\text{VO}_2\text{máx}$ o el rendimiento.

Umbral de Lactato

El umbral de lactato hace referencia a la intensidad de ejercicio que provoca un incremento de 1 mmol/L en la concentración de lactato a partir de la concentración de reposo (7), y representa el punto teórico durante el ejercicio en el cual la producción de lactato supera a la remoción (4). El umbral de lactato ha mostrado ser un importante pronosticador del rendimiento en eventos de resistencia de larga duración (26), ya que alguien con un alto umbral de lactato tiene la capacidad de correr a un mayor porcentaje de su $\text{VO}_2\text{máx}$ sin acumular lactato en exceso. El umbral de lactato ha sido examinado en sujetos desentrenados que llevaron a cabo un programa de entrenamiento con sobrecarga. Marcinik et al (19) dividieron a 18 hombres desentrenados en un grupo que llevó a cabo un programa de entrenamiento con sobrecarga de 12 semanas (3 días/semana, 12 semanas, 3 series x 10 RM en los ejercicios de press de banca, flexiones de cadera, extensiones de rodilla, flexiones de brazos, prensa de piernas, tirones en polea, curl de bíceps, sentadillas y abdominales) consistente de 10 hombres desentrenados; y un grupo control consistente de 8 hombres desentrenados. El grupo que llevó a cabo el entrenamiento exhibió un incremento del 12% en el umbral de lactato sin exhibir cambios en el $\text{VO}_2\text{máx}$. Si bien los resultados de este estudio sugieren que el entrenamiento con sobrecarga puede incrementar el umbral de lactato, desafortunadamente, los autores no examinaron si se produjeron cambios en el grupo control. En contraste con estos hallazgos, Bishop y colaboradores (3) adicionaron un programa de entrenamiento con sobrecarga periodizado (2 días/semana, 12 semanas, 3 series x 5-15RM en el ejercicio de sentadilla) al programa normal de entrenamiento de la resistencia de mujeres ciclistas y no observaron cambios en el umbral de lactato. Esta disparidad entre estos resultados y los obtenidos por Marcinik et al (19) pueden deberse a diferencias en el nivel de entrenamiento de los sujetos de cada estudio y/o al hecho de que las sesiones de entrenamiento implementadas no fueron de la intensidad suficiente como para estimular un incremento en el umbral de lactato. Paavolainen et al (24) también monitoreó el umbral de lactato en corredores de distancia bien entrenados luego de que realizaran un programa de entrenamiento con sobrecarga (3 días/semana, 9 semanas, 15-90 min; 5-10 esprints de 20-100 m, saltos alternados, saltos con contramovimiento, saltos con caída, saltos a vallas, penta saltos a una pierna, prensa de piernas y flexiones y extensiones de rodillas), y al igual que Bishop et al (3), no observaron cambios en el umbral de lactato.

El efecto que tienen el entrenamiento con sobrecarga sobre el umbral de lactato y sobre el rendimiento de resistencia sigue siendo poco claro, particularmente debido a la escasez de literatura. El umbral de lactato tiene el potencial de incrementarse a través de la mejora en la capacidad de los músculos esqueléticos para amortiguar los iones H^+ (22). En efecto, la mejora de la capacidad amortiguadora de los músculos esqueléticos ha mostrado mejorar el rendimiento de la resistencia (29), pero para nuestro conocimiento, no se han llevado a cabo estudios que hayan examinado la capacidad amortiguadora de los músculos esqueléticos luego del entrenamiento con sobrecarga. En teoría, durante el programa de entrenamiento con sobrecarga se debería estimular el mismo patrón de reclutamiento de unidades motoras que se produce durante los eventos de resistencia para así provocar las adaptaciones apropiadas. Sin embargo, para nuestro conocimiento esta premisa no ha sido examinada. Hasta la fecha, las variables de confusión en la literatura pertinente, tal como las diferencias en los programas de entrenamiento de la resistencia, hacen difícil generalizar con precisión cuál es la influencia que tiene el entrenamiento con sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia. De esta manera, hasta el monto, la literatura sugiere que los atletas de resistencia no mejorarán su umbral de lactato como resultado del entrenamiento con sobrecarga. Solo un estudio parece refutar esta última afirmación (19), pero los sujetos que participaron en este estudio eran desentrenados. La investigación ha mostrado consistentemente que el entrenamiento con sobrecarga no parece desmejorar el umbral de lactato, sugiriendo que los atletas de resistencia podrían llevar a cabo programas de entrenamiento con sobrecarga sin observar una reducción en el umbral de lactato.

Economía de Carrera

La economía de carrera representa los requerimientos metabólicos para una intensidad de ejercicio determinada (i.e., velocidad de carrera o producción de potencia). Desafortunadamente, para nuestro conocimiento, los cambios en la economía de carrera luego del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia han sido examinados solo en corredores y esquadores de cross country, lo que limita nuestra revisión sobre la economía de movimiento a los estudios realizados con corredores. En primer lugar deberíamos explicar que es la economía de carrera en términos simples. Si dos individuos corren a la misma velocidad, el individuo que tiene un menor $\text{VO}_2\text{máx}$ a una velocidad de carrera dada tiene una mayor economía de carrera, o eficiencia, ya que consume menos oxígeno produciendo menos calor metabólico a la misma velocidad de carrera que el otro sujeto. Tanto Paavolainen (24) como Johnston (14) han investigado la economía de carrera en corredores de distancia entrenados luego de que llevaran a cabo un programa de entrenamiento con

sobrecarga. Paavolainen et al (24) emplearon un programa de entrenamiento pliométrico de 9 semanas con corredores de distancia bien entrenados y hallaron un incremento del 8.1% en la economía de carrera, con un incremento asociado en la potencia muscular (+ 7.1%) y la reducción del tiempo de carrera en 5 km (- 3.1%). Los autores especularon que la mejora en las características neuromusculares, tales como el incremento en la rigidez muscular y la reducción del tiempo del ciclo de estiramiento-acortamiento (ver explicación más adelante) provocaron estos resultados (24). Johnston et al (14) utilizaron un programa de entrenamiento con sobrecarga de 14 semanas en sus sujetos y hallaron una mejora del 4% en la economía de carrera. Desafortunadamente estos autores no examinaron si este cambio en la economía de carrera influyó el rendimiento de carrera (14), por lo que no se pueden realizar comparaciones significativas entre los estudios. No obstante, estos estudios son consistentes en sugerir que el entrenamiento con sobrecarga puede asistir a incrementar el rendimiento de carrera a través de mejorar la economía de carrera, y que la explicación mecánica de la mejora en la economía de carrera yace en los cambios que se producen a nivel neuromuscular (ver más adelante). Además, se debería señalar que la economía de carrera mejoró más en el estudio de Paavolainen et al (24) en respuesta al entrenamiento pliométrico, que en el estudio de Johnston et al (14) quienes implementaron un entrenamiento con sobrecarga más convencional.

Cambio Neuromusculares

De acuerdo con el principio de especificidad del entrenamiento, el entrenamiento con sobrecarga y el entrenamiento de la resistencia inducen adaptaciones musculares diferentes (15, 21). El entrenamiento de la resistencia facilita la mejora en los procesos aeróbicos (i.e., el transporte y la utilización de oxígeno), mientras que el entrenamiento con sobrecarga incrementa la fuerza, la potencia anaeróbica y la resistencia muscular (15, 21). Se ha sugerido que las mejoras en el rendimiento de resistencia luego el entrenamiento con sobrecarga pueden deberse a la influencia del entrenamiento de la fuerza sobre el patrón de reclutamiento de unidades motoras y a la conversión de fibras musculares (14). Además, aparentemente las mejoras en la economía de carrera y la mejora asociada en el rendimiento de carrera son provocadas a través de los cambios en las características neuromusculares, entre las que se incluyen el incremento en la rigidez muscular, en la descarga neural hacia los músculos, en la sincronización de unidades motoras, en la eficiencia mecánica, la coordinación muscular y/o en el patrón de reclutamiento de unidades motoras (16). Un componente clave de la economía de carrera es la capacidad para acumular y recuperar energía elástica durante las contracciones excéntricas. El entrenamiento con sobrecarga puede mejorar la economía de carrera incrementando la rigidez de las unidades músculo-tendinosas, incrementando así la liberación de energía elástica (23). La economía de carrera también puede incrementarse a través de la reducción del tiempo del ciclo de estiramiento-acortamiento (1). Ambos cambios neuromusculares sirven para reducir el tiempo de contacto contra el suelo y así incrementar la longitud de zancada por unidad de oxígeno consumido.

La conversión de fibras musculares es una de las pocas, sino la única, adaptación muscular que se produce tanto con el entrenamiento de la fuerza como con el entrenamiento de la resistencia; y ambos modos de entrenamiento provocan el incremento del porcentaje de fibras Tipo IIa a expensa de las fibras Tipo IIb (20, 30). Comparativamente, las fibras Tipo IIa son más oxidativas que las fibras Tipo IIb, por lo que el incremento en las fibras IIa resultaría en un incremento en la capacidad oxidativa del músculo, lo que a su vez derivaría en un incremento del rendimiento de resistencia al mejorar la capacidad de producción de energía aeróbica. Teóricamente esto es justificable, sin embargo, un estudio llevado a cabo por Coyle y colaboradores (6) parece refutar esto. Coyle et al (6) estudiaron a 7 sujetos entrenados en resistencia durante los 12, 21, 56 y 84 días posteriores a la finalización del entrenamiento. La economía de carrera no exhibió cambios a través de todo el período de desentrenamiento, lo que ocurrió a pesar la gran conversión de fibras Tipo IIa a fibras Tipo IIb (6). Bishop et al (3) tampoco hallaron cambios en la composición de los tipos de fibras o en el potencial oxidativo de las fibras musculares luego de un programa de entrenamiento con sobrecarga de 12 semanas de duración en ciclistas femeninas. Estos hallazgos sugieren que la conversión de fibras musculares tiene poco o ningún impacto sobre el consumo de oxígeno o la economía de movimiento (3, 6).

Los cambios a nivel neuromuscular, incluyendo la reducción del ciclo de estiramiento-acortamiento y el incremento en la rigidez muscular, lo cual ayuda a la recuperación de la energía elástica durante la fase excéntrica de las contracciones musculares durante la carrera, parecen ser las explicaciones más probables de la mejora en la economía de carrera y el rendimiento luego del entrenamiento con sobrecarga. Debido a que el ciclismo implica predominantemente contracciones concéntricas, esto podía explicar porque el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia no ha mostrado mejoras significativas en el rendimiento de ciclismo (2, 3). Sin embargo, muchas carreras de ciclismo consisten períodos aleatorios de intensidad variable, que finalizan con un esprint (25). Por lo tanto, la mejora de la fuerza de las extremidades inferiores sería ventajosa especialmente para aquellos ciclistas cuyo rol es completar exitosamente los sprints finales. La investigación debe examinar esta premisa. Uno de los autores (P.L.) ha observado que muchos ciclistas llevan a cabo trabajos de fuerza-resistencia, realizando ascensos con las mayores multiplicaciones y cadencias bajas de pedaleo para imitar los patrones de reclutamiento esenciales para el ciclismo de alta intensidad. Un reciente estudio llevado a cabo con ciclistas ha mostrado resultados prometedores para aquellos ciclistas que desean suplementar su entrenamiento de la resistencia con un programa de entrenamiento con sobrecarga. Bastiaans et al (2) compararon dos programas de

entrenamiento de 9 semanas de volumen similar (8.8 h/semana): entrenamiento solo de la resistencia versus 73% de entrenamiento de la resistencia y 37% de entrenamiento de la fuerza explosiva (4 series de 30 RM en los ejercicios de sentadilla, prensa de piernas y subidas al cajón). Si bien ambos grupos mejoraron su rendimiento de resistencia, no se observaron diferencias significativas entre los grupos en términos de rendimiento. Este es un importante hallazgo para aquellos atletas que viven en lugares donde las inclemencias del tiempo hacen que sea difícil entrenar. De esta manera, en los días en que no se puede entrenar al aire libre debido a las inclemencias del tiempo, puede llevarse a cabo el entrenamiento de la fuerza explosiva sin riesgo de observar una reducción en el rendimiento debido a la ausencia del entrenamiento de la resistencia (2). Si bien los limitados estudios en esta área llevados a cabo con ciclistas sugieren que el entrenamiento con sobrecarga puede no ayudar a mejorar el rendimiento (3), se requieren de estudios adicionales para determinar si el entrenamiento con sobrecarga puede ayudar a mejorar el rendimiento en ciclismo de velocidad.

CONCLUSION

Si bien existen pocos estudios que hayan examinado la influencia del entrenamiento con sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia, los hallazgos sugieren que el entrenamiento con sobrecarga puede mejorar el rendimiento de resistencia en corredores a través de la mejora en la economía de carrera sin influenciar significativamente el VO_2 máx o el umbral de lactato. La economía de carrera probablemente mejora a través de adaptaciones neuromusculares, incluyendo la reducción del tiempo del ciclo de estiramiento-acortamiento o el incremento en la rigidez muscular. El entrenamiento con sobrecarga no parece mejorar el rendimiento en ciclismo o las variables fisiológicas asociadas, aunque se requieren más estudios en esta población de deportista antes de que podamos descartar que el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia no sea beneficioso para mejorar el rendimiento en el ciclismo. Un punto importante que debería enfatizarse es que el entrenamiento con sobrecarga nunca ha mostrado afectar negativamente el rendimiento de resistencia y las variables fisiológicas asociadas, pero podría tener muchos efectos neuromusculares positivos. Si bien el incremento en la economía de carrera luego del entrenamiento con sobrecarga parece ser responsable de la mejora en el rendimiento de carrera, no existe una explicación definitiva de los cambios que se producen a nivel neuromuscular que sean responsables de esta mejora, lo cual garantiza la realización de estudios en esta área. El incremento en la rigidez muscular, la reducción en el input neural hacia los músculos, el incremento en la sincronización de unidades motoras y en su reclutamiento o la combinación de alguno de estos mecanismos tiene el potencial de contribuir al incremento en la economía de carrera (16). Los futuros estudios también deberían examinar el tipo de entrenamiento con sobrecarga que provoque la mayor mejora en la economía de movimiento y en el rendimiento de resistencia, y si el entrenamiento con sobrecarga puede alterar positivamente alguno de los aspectos del rendimiento de ciclismo (i.e., los sprints de ciclismo).

Recomendaciones Prácticas para los Preparadores Físicos/Entrenadores

La adición de un programa de entrenamiento con sobrecarga al programa de entrenamiento de la resistencia en atletas de resistencia bien entrenados es un tema controversial, pero puede estar garantizado si el tiempo lo permite, ya que la capacidad anaeróbica puede discriminar el rendimiento de los atletas de resistencia de elite. Los corredores de distancia parecen obtener las mayores ventajas del entrenamiento con sobrecarga, pero este hallazgo solo puede ser generalizado a los deportes en los que la carrera ocupa una gran proporción, tal como el fútbol, el hockey sobre césped y el fútbol Australiano. En corredores de resistencia, diversas formas de entrenamiento con sobrecarga han mostrado mejorar la economía de carrera y el rendimiento de resistencia (14, 24), no obstante el entrenamiento de la fuerza explosiva con movimientos que imiten la fase excéntrica de la carrera (i.e., el entrenamiento pliométrico) parece ser el más efectivo (24). Este mismo resultado no ha sido observado en ciclistas de resistencia entrenados (2, 3). El hallazgo de una influencia positiva sobre el rendimiento, predominantemente en corredores, sugiere que el efecto más significativo del entrenamiento con sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia es la alteración de las características neuromusculares, tal como la reducción del tiempo del ciclo de estiramiento-acortamiento o el incremento en la rigidez muscular.

En conclusión, lo que debería quedar claro a partir de esta revisión es que la clave para diseñar cualquier programa de entrenamiento con sobrecarga para atletas de resistencia es seguir el principio de la especificidad. Si se producen mejoras con el entrenamiento con sobrecarga, estas probablemente surgirán de la utilización de ejercicios que imiten estrechamente los patrones de reclutamiento neuromuscular observadas en un deporte en particular (principio de la especificidad). De esta manera, antes de comenzar a diseñar un programa de entrenamiento con sobrecarga, los preparadores físicos y los entrenadores deberían observar a sus atletas desempeñándose en el campo. ¿Qué tipo de fuerza, velocidad, patrones de reclutamiento y repeticiones se producen? Los profesionales del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento deberían utilizar esta información para diseñar programas de entrenamiento apropiados y específicos para sus atletas de resistencia.

REFERENCIAS

1. Avela, J., P.M. Santos, and P.V. Komi (1996). Effects of differently induced stretch loads on neuromuscular control in drop jump exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 72(5 6):553-562
2. Bastiaans, J.J., A.B.V.P. van Diemen, T. Veneberg, and A.E. Jeukendrup (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 86:79-84
3. Bishop, D., D.G. Jenkins, L.T. Mackinnon, M. McEniery, and M.F. Carey (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 31(6):886-891
4. Brooks, G.A (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 17(1):22-34
5. Bulbulian, R., A.R. Wilcox, and B.L. Darabos (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 18(1):107-113
6. Coyle, E.F., W.H. Martin, S.A. Bloomfield, O.H. Lowry, and J.O. Holloszy (1985). Effects of detraining on responses to submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 59(3):853-859
7. Coyle, E.F., W.H. Martin, A.A. Ehsani, J.M. Hagberg, S.A. Bloomfield, D.R. Sinacore, and J.O. Holloszy (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J. Appl. Physiol.* 54(1):18-23
8. Hawley, J.A., and W.G. Hopkins (1995). Aerobic glycolytic and aerobic lipolytic power systems. A new paradigm with implications for endurance and ultraendurance events. *Sports Med.* 19(4):240-250
9. Hickson, R.C., B.A. Dvorak, E.M. Gorostiaga, T.T. Kurowski, and C. Foster (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 65(5): 2285-2290
10. Hickson, R.C., M.A. Rosenkoetter, and M.M. Brown (1990). Strength training effects on aerobic power and shortterm endurance. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 12(5):336-339
11. Hoff, J., A. Gran, J. Helgerud (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 12:288-295
12. Hopkins, W.G., J.A. Hawley, and L.M. Burke (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 31(3): 472-85
13. Hoppeler, H., and E.R. Weibel (2000). Structural and functional limits for oxygen supply to muscle. *Acta Physiol. Scand.* 168(4):445-456
14. Johnston, R.E., T.J. Quinn, R. Kertzer, and N.B. Vroman (1997). Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *J. Strength Cond. Res.* 11(4):224-229
15. Jones, A.M., and H. Carter (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 29(6): 373-386
16. Jung, A.P (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Med.* 33(7):539-552
17. Laursen, P.B., and D.G. Jenkins (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* 32(1):53-73
18. Laursen, P.B., and E.C. Rhodes (2001). Factors affecting performance in an ultraendurance triathlon. *Sports Med.* 31(3):195-209
19. Marciniak, E.J., J. Potts, G. Schlabach, S. Will, P. Dawson, and B.F. Hurley (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 23(6):739-743
20. McArdle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch (2000). Essentials of Exercise Physiology (2nd ed.). Sydney: Lippincott-Williams & Wilkins
21. McComas, A.J (1994). Human neuromuscular adaptations that accompany changes in activity. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 26(12):1498-1509
22. McKenna, M.J., A.R. Harmer, S.F. Fraser, and J.L. Li (1996). Effects of training on potassium, calcium and hydrogen ion regulation in skeletal muscle and blood during exercise. *Acta Physiol. Scand.* 156(3):335-346
23. Millet, G.P., G.Y. Millet, M.D. Hofmann, and R.B. Candau (2000). Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: Influence of performance level. *Int. J. Sports Med.* 21(2):127-132
24. Paavolainen L., K. Hakkinen, I. Hamalainen, A. Nummela, H. Rusko (1999). Explosive-strength training improves 5- km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86(5):1527-1533
25. Palmer, G.S., T.D. Noakes, and J.A. Hawley (1997). Effects of steady-state versus stochastic exercise on subsequent cycling performance. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 29(5):684-687
26. Rhodes, E.C., and D.C. McKenzie (1984). Predicting Marathon time from anaerobic threshold measurements. *Phys. Sports Med.* 12(1):95-99
27. Sale, D.G., I. Jacobs, J.D. Mac- Dougall, and S. Garner (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 22(3):348-356
28. Tanaka, H., and T. Swensen (1988). Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training?. *Sports Med.* 25(3):191-200
29. Weston, A.R., K.H. Myburgh, F.H. Lindsay, S.C. Dennis, T.D. Noakes, and J.A. Hawley (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity training by well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75:7-13
30. Williamson, D.L., P.M. Gallagher, C.C. Carroll, U. Raue, and S.W. Trappe (2001). Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans. *J. Appl. Physiol.* 91(5):1955-1961

Cita Original

Paul B. Laursen, Sheree E. Chiswell, Jessica A. Callaghan. Should Endurance Athletes Supplement Their Training Program With Resistance Training to Improve Performance? *Strength and Conditioning Journal*, 27(5):50-55, 2005.