

Monograph

Impacto del Entrenamiento de Sobrecarga sobre el Rendimiento en Resistencia: ¿Una Nueva Forma de Entrenamiento Cruzado?

Hirofumi Tanaka¹ y Thomas Swensen²

¹Human Cardiovascular Research Laboratory, Department of Kinesiology, University of Colorado, Boulder, Colorado, Estados Unidos.

²Department of Exercise and Sport Sciences, Ithaca College, Ithaca, New York, Estados Unidos.

RESUMEN

Siguiendo el principio de especificidad del entrenamiento, los entrenamientos de fuerza y resistencia inducen diferentes adaptaciones musculares. Por ejemplo, el entrenamiento de resistencia, disminuye la actividad de las enzimas glucolíticas, pero incrementa las reservas de sustratos, la actividad de las enzimas oxidativas, y también la densidad capilar y mitocondrial en el interior del músculo. Por el contrario, el entrenamiento de fuerza o sobrecarga reduce la densidad mitocondrial, afectando marginalmente a la densidad capilar, actividad de las enzimáticas metabólicas y reservas de sustratos intramusculares (excepto el glucógeno muscular). Las dos modalidades de entrenamiento inducen adaptación muscular común; transforman las fibras musculares tipo IIb en IIa. Esta transformación está asociada con cambios opuestos en el tamaño de las fibras (el entrenamiento de sobrecarga aumenta el tamaño de las fibras, mientras que el entrenamiento de resistencia lo reduce) y generalmente, en las propiedades contráctiles de las fibras musculares. Como resultado de estas diferentes adaptaciones musculares, el entrenamiento de resistencia facilita los procesos aeróbicos, mientras que el entrenamiento de sobrecarga incrementa la fuerza muscular y la potencia anaeróbica. Sin embargo los datos de rendimiento de ejercicio no cumplen este paradigma, debido a que indican que el entrenamiento de sobrecarga o la adición de entrenamiento de sobrecarga a un régimen de ejercicio de resistencia que ya está en curso, entre los que se pueden incluir carreras o ciclismo, incrementa la capacidad de resistencia de corto y largo plazo en individuos sedentarios y entrenados. El entrenamiento de fuerza también parece mejorar el umbral de lactato en individuos desentrenados en ciclismo. Estas mejoras pueden estar asociadas con la capacidad del entrenamiento de sobrecarga para alterar el tamaño y las propiedades contráctiles de las fibras musculares, adaptaciones que pueden incrementar la producción de fuerza muscular. En contraste con lo que ocurre en las carreras o en el ciclismo, el entrenamiento de sobrecarga tradicional en tierra o la combinación entre entrenamiento de natación y entrenamiento de sobrecarga, no parecen aumentar el rendimiento en natación en individuos no entrenados ni en nadadores competitivos, a pesar de que se incrementa sustancialmente la fuerza de los miembros superiores del cuerpo. Sin embargo, la combinación de programas de entrenamiento de natación con entrenamientos de sobrecarga acuáticos, específicos para natación, incrementa la velocidad de los nadadores de competición en distancias de hasta 200 m. El entrenamiento de sobrecarga tradicional puede ser un método auxiliar valioso para los programas de ejercicio que realizan los corredores de resistencia o ciclistas, pero no para nadadores, ya que estos últimos atletas necesitan metodologías de entrenamiento de fuerza más específicas para experimentar mejoras en el rendimiento.

Palabras Clave: ciclismo, resistencia, pedestrisimo, entrenamiento de sobrecarga

INTRODUCCION

El entrenamiento de resistencia tradicional incrementa la capacidad de realizar ejercicios con baja carga y alto número de repeticiones, pero solo afecta de manera marginal la fuerza muscular y la potencia anaeróbica. En contraste, el entrenamiento de sobrecarga mejora la capacidad de realizar ejercicios con carga elevada y bajo número de repeticiones, pero afecta marginalmente la resistencia. Por lo tanto, parecería inconsistente prescribir entrenamiento de sobrecarga a los atletas que solo buscan mejorar la resistencia, una prescripción de este tipo viola el principio de especificidad del entrenamiento, i.e, los programas de entrenamiento deben estimular el modo de realizar ejercicio de los atletas [1].

Sin embargo, para ser exitosos en los deportes de resistencia, los atletas competitivos necesitan mucho más que una mayor capacidad de trabajo a largo plazo; también necesitan fuerza muscular y potencia anaeróbica, capacidades para subir pendientes, atacar y el esprint final durante las carreras. [2, 3]. Para lograr estas capacidades, los atletas de resistencia generalmente realizan entrenamiento intervalado de alta intensidad y corta duración, [4], pero recientemente, muchos preparadores y entrenadores han comenzado a prescribir entrenamiento de sobrecarga junto con, o en lugar del entrenamiento intervalado. Esta prescripción se basa presumiblemente en la capacidad del entrenamiento de sobrecarga para mejorar la fuerza muscular y la potencia anaeróbica, y a su vez, posiblemente el rendimiento en resistencia. En este sentido, el entrenamiento de fuerza puede ser tomado como una forma de entrenamiento cruzado, aunque con una aplicación no tradicional del concepto.

Tradicionalmente, el entrenamiento cruzado involucra actividades que producen una meta común, como mejorar el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx. [5]. El entrenamiento de sobrecarga cumple con este paradigma, pero desde una perspectiva diferente; al igual que el entrenamiento intervalado de corta duración, aumenta la potencia anaeróbica. Por otra parte, la información proveniente de la bibliografía científica es confusa, con respecto al impacto del entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia.

Por lo tanto, el propósito de este artículo fue realizar una revisión de las investigaciones sobre los entrenamientos de sobrecarga, resistencia, y sobrecarga y resistencia combinados, con el fin de analizar las bases fisiológicas, para agregar ejercicios de sobrecarga al régimen de entrenamiento de los atletas de resistencia. Más específicamente, nos concentraremos principalmente en las adaptaciones musculares inducidas por las modalidades de entrenamiento anteriormente mencionadas. En las secciones restantes, estudiaremos el impacto del entrenamiento de sobrecarga en el rendimiento de la carrera, ciclismo y natación, los tres tipos de ejercicio que tradicionalmente han sido integrados a los regímenes de entrenamiento cruzado. [5]

ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS A LOS ENTRENAMIENTOS DE SOBRECARGA Y DE RESISTENCIA

El entrenamiento de sobrecarga tradicional implica contracciones musculares con carga alta, y pocas repeticiones, mientras que el entrenamiento de resistencia involucra contracciones musculares con poca carga y muchas repeticiones. Como resultado de estas diferencias, cada modo de entrenamiento produce diferentes adaptaciones fisiológicas en la musculatura entrenada [1]. Por ejemplo, tal como se ha establecido por el aumento del área transversal en todos los tipos de fibra o simplemente en las fibras tipo II, el entrenamiento de sobrecarga, induce hipertrofia muscular [6-10]. Esta hipertrofia refleja un aumento en el volumen de proteínas del músculo, lo que produce un aumento en el tamaño y posiblemente en la cantidad de fibras [8, 11, 12]. El entrenamiento de sobrecarga también altera la proporción de fibras de tipo II; a medida que el porcentaje de fibras de tipo IIa aumenta y el de tipo IIb (recientemente llamado IIx) [13, 14] disminuye, hay un cambio concomitante a nivel histoquímico y de las isoformas de miosina, que refleja una transformación de las fibras de IIb a IIa, [6-8, 15-17].

En contraste con estos cambios estructurales, el entrenamiento de sobrecarga induce poco o ningún cambio en la actividad de las enzimas del sistema fosfágeno ni en las enzimas glucolíticas y oxidativas. [9, 10, 18-22]. El entrenamiento de sobrecarga también tiene un pequeño impacto en la capilarización del músculo; la mayoría de los estudios [23-25] indican que este modo de entrenamiento induce la formación de nuevos capilares, o que esta formación se produce porque la densidad capilar permanece sin cambios a pesar de la hipertrofia que se produce en el músculo. Sin embargo, los datos de otro estudio, demostraron que el entrenamiento de sobrecarga, no produce formación de nuevos capilares, dado que disminuye la densidad, pero no el número de capilares [26]. Es importante destacar que aún cuando el entrenamiento de sobrecarga induce la formación de nuevos capilares, no aumenta la densidad capilar. En el mejor de los casos, el entrenamiento de sobrecarga mantiene la densidad capilar, lo que sugiere que la distancia de difusión de O_2 y por lo tanto

la entrega de O_2 , se mantendrán en los niveles previos al entrenamiento.

Si se compara con el efecto sobre la capilarización, el impacto del entrenamiento de sobrecarga en la densidad mitocondrial es pronunciado, debido a que disminuye la densidad de esta importante organela relacionada al metabolismo, principalmente a través de la dilución inducida por la hipertrofia [8, 23]. Por el contrario, el entrenamiento de sobrecarga tiene un impacto indeterminado sobre los niveles intramusculares de fosfágenos; los datos de un estudio indicaron que el entrenamiento de sobrecarga aumenta esta variable [27], mientras que los datos de otro estudio no mostraron ningún cambio [20]. Sin embargo el entrenamiento de sobrecarga parecería aumentar el contenido de glucógeno en la musculatura que realiza el entrenamiento [20, 27].

Entre todas, la respuesta adaptativa al entrenamiento de sobrecarga más pertinente podría ser el aumento en el tamaño de las fibras musculares, que está asociado con la alteración en las propiedades contráctiles [15]. En conjunto, estas adaptaciones pueden aumentar la producción de fuerza muscular, y por ende contribuir con los cambios asociados al entrenamiento de sobrecarga, tales como un incremento en la fuerza muscular, en la potencia anaeróbica en el test de Wingate, en la producción de potencia a corto plazo y en el tiempo hasta el agotamiento a tasas de trabajo de alta intensidad [7, 15, 18, 28-31]. Notablemente, los aumentos en la producción de potencia a corto plazo y en el tiempo hasta el agotamiento en tasas de trabajo de alta intensidad, después de un período de entrenamiento de sobrecarga no se asociaron con cambios significativos en el VO_2 máx. [18, 29]. De hecho, cuando se consideran todos los tipos de entrenamiento de sobrecarga juntos, esta modalidad de entrenamiento provoca un aumento inferior al 3% en el VO_2 máx. y sólo en individuos desentrenados o ligeramente activos [7, 18, 19, 28, 29, 32-37].

En marcado contraste con el entrenamiento de sobrecarga, el entrenamiento de resistencia aumenta de manera inequívoca la densidad capilar, la densidad mitocondrial, las reservas intramusculares de sustratos y la actividad de las enzimas oxidativas, y también reduce la actividad de las enzimas glucolíticas [22, 28, 38, 39]. Al igual que el entrenamiento de sobrecarga, el entrenamiento de resistencia altera el tamaño y la proporción de las fibras tipo II, debido a que disminuye el área transversal de las mismas, al mismo tiempo que aumenta el porcentaje de las fibras de tipo IIa y disminuye el de las tipo IIb, un cambio concomitante que refleja la transformación de las fibras a nivel histoquímico y de las isoformas de miosina [15, 22, 40, 41].

La mayoría de los datos indican que el entrenamiento de resistencia no cambia el porcentaje de fibras tipo I y no cambia o reduce ligeramente el tamaño de las mismas [7, 13, 14, 42, 43]. Estos datos sobre el tamaño de las fibras, son apoyados por estudios transversales e investigaciones realizadas en roedores [15, 22, 41]. En contraste, los datos de otros estudios revelaron que el entrenamiento de resistencia induce hipertrofia de las fibras tipo I [40, 44]. Esta diferencia podría estar relacionada con el nivel de aptitud física de los participantes del estudio antes del entrenamiento, dado que el tamaño de las fibras aumentó en los individuos no entrenados y disminuyó o no cambió, en los atletas moderadamente o muy entrenados.

Además de alterar el tamaño y porcentaje de las fibras, el entrenamiento de resistencia también afecta las propiedades contráctiles de las fibras musculares, debido a que disminuye la velocidad máxima de acortamiento (V_{max}) de las fibras tipo II y reduce ligeramente el desarrollo de tensión máxima en todos los tipos de fibras [15, 43, 45]. Colectivamente, los cambios en el tamaño de las fibras musculares y en las propiedades contráctiles disminuyen la capacidad de las fibras de tipo I y IIa para generar fuerza máxima [13-15]. La disminución en la producción de fuerza, sobre todo en las fibras de tipo IIa, no es necesariamente perjudicial para el rendimiento de resistencia, porque puede estar asociado con un aumento en la eficiencia de las fibras [15, 46]. Una fibra IIa más pequeña y más eficiente puede ser ventajosa para los ejercicios de resistencia, dado que la mayor eficiencia de la fibra reduciría la tasa de consumo de adenosín trifosfato (ATP) y la disminución en el diámetro de la fibra mejoraría el transporte de O_2 , disminuyendo la distancia de difusión del mismo. Ambos cambios aumentarían la capacidad de resistencia a largo plazo.

El entrenamiento de resistencia también aumenta la expresión de las cadenas livianas de miosina rápida en las fibras de tipo I, lo que incrementa su V_{max} , asemejándola a una velocidad más característica de las fibras de tipo IIa [14, 15]. Sin embargo esta adaptación no indica una transformación de fibras tipo I a tipo II; un cambio de esta naturaleza requiere una alteración en la expresión de la cadena pesada de la miosina, la cual no ha sido reportada [14, 15, 47].

Una mayor V_{max} en las fibras de tipo I puede aumentar la velocidad muscular y por lo tanto la velocidad corporal, sin afectar la eficiencia de la fibra [15]. Estos cambios pueden permitir a los atletas de resistencia reducir el uso de las fibras tipo II menos eficientes a una dada tasa de trabajo submáxima absoluta, que podría explicar la mejora en la economía de la carrera inducida por los ejercicios de resistencia [48].

Las adaptaciones musculares inducidas por el entrenamiento de resistencia en conjunto, facilitan los procesos aeróbicos, porque esta modalidad de entrenamiento aumenta el VO_2 máx., el umbral del lactato, y la capacidad de resistencia a largo plazo.

Por el contrario, las adaptaciones musculares, entre las que se incluyen los cambios en el tamaño de las fibras musculares, en la proporción de fibras tipo II y en las propiedades contráctiles, junto con una menor actividad de las enzimas glucolíticas, pueden comprometer la potencia anaeróbica y la fuerza muscular [7, 15, 49-51]. De hecho, el entrenamiento de resistencia se asocia con una disminución en la capacidad de salto vertical [49,51]. Notablemente, aquellos sujetos que experimentaron los mayores aumentos en VO_2 máx. y en el rendimiento submaximo de carrera a través del entrenamiento de resistencia presentaban la mayor disminución en las puntuaciones de salto vertical. [51] Además, el entrenamiento de resistencia ha sido asociado con una reducción significativa en la fuerza isocinética de extensión de la rodilla [50] y de la potencia anaeróbica en el test de Wingate [7]. En síntesis, los entrenamientos de sobrecarga y resistencia inducen una adaptación muscular común; transforman las fibras tipo IIb en fibras IIa. Esta transformación se produce junto con cambios opuestos en el tamaño de las fibras y generalmente, en las propiedades contráctiles de los músculos que pueden explicar por qué es el entrenamiento de sobrecarga y no el de resistencia, el que mejora la potencia anaeróbica y la fuerza muscular. En relación con las variables fisiológicas que tradicionalmente se han asociado con el aumento en la resistencia (es decir, la densidad capilar, densidad mitocondrial y actividad de las enzimas oxidativas), los entrenamientos de sobrecarga y resistencia no parecen tener un efecto sinérgico.

ENTRENAMIENTO SIMULTANEO DE LA FUERZA Y LA RESISTENCIA

Hickson fue el primero en estudiar la interacción entre los entrenamientos de sobrecarga y de resistencia en individuos desentrenados [28]. En dicho estudio, el entrenamiento simultáneo de la fuerza y la resistencia provocó un aumento en el VO_2 máx. similar al que se observa con el entrenamiento de resistencia solo, y un aumento atenuado en las ganancias de fuerza muscular en comparación con el entrenamiento de fuerza solo. El autor especuló que el menor aumento en la fuerza podría haber sido provocado por el sobreentrenamiento, ya que el grupo de entrenamiento simultáneo realizó ambos tipos de ejercicio cada día de la semana y realizó entrenamiento de resistencia adicional durante el fin de semana, mientras que el grupo de entrenamiento de resistencia realizó solamente ejercicios de resistencia durante 5 días por semana [28]. Sin embargo los resultados de estudios subsiguientes en los que se redujo la carga de entrenamiento, confirmaron que en los individuos sedentarios, el entrenamiento simultáneo atenúa las ganancias de fuerza cuando se compara con el entrenamiento de sobrecarga [37, 38].

Aunque el mecanismo de este antagonismo no ha sido establecido, los resultados de un estudio reciente de entrenamiento simultáneo, en el que participaron soldados activos [7], sugieren que la diferencia en los cambios en el tamaño de las fibras podrían contribuir a la atenuación de la ganancia de fuerza muscular inducida por esta modalidad de entrenamiento. En dicho estudio, el entrenamiento de sobrecarga aumentó el tamaño de las fibras de tipo I, IIa y IIc, mientras que el entrenamiento simultáneo provocó una pequeña reducción del tamaño de las fibras de tipo I, IIb y IIc. Estos datos sugieren que el entrenamiento de resistencia, aún con entrenamiento de sobrecarga superpuesto, tiende a producir fibras musculares con áreas más pequeñas que el entrenamiento de resistencia solo [7]. Como discutimos previamente, las fibras musculares más pequeñas y los cambios asociados en las propiedades contráctiles de las fibras inducidos por el entrenamiento de resistencia (es decir menor V_{max} en las fibras de tipo II, mayor V_{max} en las fibras tipo I y el menor desarrollo de tensión máxima en todas las fibras) pueden facilitar los procesos aeróbicos, mientras que afectan la potencia anaeróbica y la fuerza muscular. De hecho, en aquel estudio, el grupo que realizó los entrenamientos simultáneos presentó un aumento en el VO_2 máx. similar al del grupo que realizó entrenamiento de resistencia, pero un menor aumento en la fuerza de las piernas y la potencia anaeróbica del test Wingate en comparación con el grupo que realizó entrenamiento de sobrecarga. Los datos del grupo que realizó el entrenamiento de resistencia corroboran adicionalmente nuestro argumento, dado que este grupo experimentó el mayor aumento en el VO_2 máx. y la mayor disminución en el tamaño de las fibras; por otra parte, este último cambio, estuvo asociado con ligeras disminuciones en la fuerza de la piernas y en el rendimiento anaeróbico en el test de Wingate [7].

Alternativamente, la disminución en el aumento de fuerza en los individuos sedentarios o ligeramente activos luego de realizar entrenamientos simultáneos puede ser atribuida a una interacción temporal, es decir el cuerpo no puede adaptarse óptimamente a ambos estímulos de entrenamiento si los dos comienzan simultáneamente. Esta línea de razonamiento se basa en datos que muestran que la adición de ejercicios de sobrecarga al régimen de entrenamiento de atletas de resistencia bien entrenados, no disminuye el aumento en la fuerza [37]. Investigaciones realizadas con roedores sustentan adicionalmente esta hipótesis, ya que en las mismas se demostró que los músculos que se estaban hipertrofiando experimentaron menores aumentos en la resistencia, mientras que los músculos con hipertrofia previa respondieron al entrenamiento de resistencia de manera similar a los músculos desentrenados [52, 53].

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SOBRECARGA SOBRE EL RENDIMIENTO DE RESISTENCIA

Rendimiento de la Carrera

Pocos trabajos han estudiado el impacto del entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento de la carrera. Por otra parte, las mejoras en la fuerza muscular y la potencia anaeróbica adquiridos a través del entrenamiento de sobrecarga podrían ayudar a los corredores a aguantar los ataques, subir pendientes o realizar sprints en los últimos minutos, lo que aumentaría el rendimiento de la carrera. De hecho, se ha informado que la potencia anaeróbica es un determinante crítico para el éxito en la carrera en los corredores de *cross-country* o campo través, que tienen valores de VO_2 máx. similares [3] y que los corredores de fondo más rápidos poseen músculos con mayor potencia [54].

Los primeros estudios que evaluaron los efectos del entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento en la carrera fueron realizados con participantes desentrenados, lo que limita nuestra capacidad para extrapolar los resultados a los corredores altamente entrenados. No obstante, estos estudios mostraron que el entrenamiento de sobrecarga aumenta la fuerza de las piernas en un 25% y el rendimiento de corta duración en cinta rodante en un 10% [29, 32-35].

Esta mejora en el tiempo hasta el agotamiento en la cinta rodante no estuvo acompañada por un aumento en el VO_2 máx. [29].

Al igual que en los individuos desentrenados, el entrenamiento de sobrecarga también mejora el rendimiento de corta duración en cinta rodante, la fuerza de las piernas y la potencia anaeróbica en atletas de resistencia moderadamente entrenados. Por ejemplo, los datos de un estudio indicaron que la adición de ejercicios de sobrecarga a un régimen de entrenamiento de resistencia mejora la fuerza de las piernas en un 30% y el rendimiento de corta duración en cinta rodante en 13% [18]. De manera similar, otro estudio demostró que el entrenamiento de sobrecarga incrementa la fuerza de las piernas en un 40% y el salto vertical en 15% en corredores previamente entrenados, lo que indicaría un aumento en la potencia anaeróbica y posiblemente en el rendimiento durante la carrera [37]. Ningún estudio demostró que el entrenamiento de sobrecarga alterara el VO_2 máx. en individuos entrenados en resistencia [18, 37].

No se conocen las adaptaciones musculares subyacentes, responsables de la mejora en el rendimiento de carrera a corto plazo. Debido a que el entrenamiento de sobrecarga disminuye la densidad mitocondrial y afecta mínimamente el VO_2 máx., la densidad capilar, las reservas de sustratos y las actividades de las enzimas oxidativas, el mecanismo clave podría ser el aumento en el tamaño de las fibras musculares y los cambios asociados a las propiedades contráctiles de las mismas, inducidos por el entrenamiento de sobrecarga. Aunque no se ha estudiado el efecto del entrenamiento de sobrecarga sobre el tamaño de las fibras musculares en corredores muy entrenados, los entrenamientos simultáneos en los soldados activos produjeron fibras musculares más grandes y mayores incrementos en la fuerza y en el rendimiento anaeróbico en el test de Wingate a los observados con el entrenamiento de resistencia solo [7]. En síntesis, si el entrenamiento de sobrecarga puede inducir hipertrofia en las fibras de los corredores entrenados, entonces podrá revertir algunos de los cambios musculares producidos por el entrenamiento de resistencia. Por ejemplo, el mayor tamaño de las fibras puede aumentar adicionalmente la V_{max} de las fibras de tipo I y atenuar o revertir la reducción en el V_{max} de las fibras de tipo II y la producción de fuerza y desarrollo de tensión máxima en todas las fibras [13-15, 43, 45]. Debido a que las fibras más rápidas, más grandes y más fuertes generan más fuerza, los corredores entrenados en sobrecarga serían capaces de realizar ejercicios durante un tiempo mayor a cada tasa de trabajo submáxima absoluta reduciendo el aporte de fuerza de cada fibra muscular activa o utilizando menor cantidad de las mismas. En conjunto, una fibra de tipo I más fuerte puede permitirle a los corredores entrenados en sobrecarga, demorar el reclutamiento de las fibras de tipo II menos eficientes [18, 28].

Existen resultados que corroboran indirectamente nuestra hipótesis, y que demuestran que el entrenamiento de sobrecarga reduce el índice electromiografía integrada /tensión musculara tasas de trabajo submáximas absolutas en los individuos no entrenados [55, 56] y mejora la economía de carrera en los corredores entrenados [57]. Estos datos pueden ser interpretados al menos, de dos maneras: (i) el grado de activación en cada unidad motora/fibra muscular es menor; y/o (ii) hay menos unidades motoras/fibras musculares activas [58]. Por otra parte, sobre la base del principio de tamaño de la unidad motora, esta última alternativa implica que la actividad de las unidades motoras mayores está reducida, esto es, hay menos fibras de tipo II activas, las cuales son menos eficientes. Además, se ha sugerido que la economía de la carrera está parcialmente relacionada al porcentaje o a la V_{max} de las fibras tipo I o a ambos factores [59]. Debido a que el entrenamiento de sobrecarga no aumenta el porcentaje de fibras tipo I, se podría mejorar la economía de la carrera, aumentando la V_{max} de estas fibras después del entrenamiento de resistencia.

Rendimiento en Ciclismo

Al igual que en la carrera, el entrenamiento de sobrecarga puede mejorar el rendimiento en el ciclismo, porque la fuerza muscular dinámica es un componente esencial de las facetas de ciclismo de ruta competitivo que requieren la producción de potencia anaeróbica de corta duración, tales como los ataques, respuesta a un ataque, ascensos a cuestas empinadas y cortas o esprints [2]. De hecho, los ciclistas mejor posicionados dentro de la Federación Americana de Ciclismo, la institución que regula el ciclismo aficionado en América, presentaban producciones de potencia anaeróbica significativamente mayores que las de los ciclistas menos posicionados [60]. Sin embargo ninguno de los trabajos que evaluaron el impacto del entrenamiento de sobrecarga en el ciclismo, utilizó ciclistas entrenados como participantes, por lo tanto se desconoce si los resultados son aplicables a esta población. No obstante, los datos indican que el entrenamiento de sobrecarga puede mejorar algunos aspectos del rendimiento en ciclismo.

Los resultados de trabajos que estudiaron, por ejemplo, el impacto del entrenamiento de sobrecarga sobre la potencia anaeróbica específica del ciclismo, demostraron que esta modalidad de entrenamiento aumenta la potencia anaeróbica de Wingate (intervalo: 6 a 17%) y la fuerza muscular de las piernas (intervalo: 3 a 30%) en los individuos sedentarios, soldados activos y nadadores de elite [7, 61, 62]. Datos adicionales mostraron que el entrenamiento de sobrecarga aumenta la fuerza de las piernas en un 35% y el rendimiento en series de ciclismo de corta duración en un 29% en individuos no entrenados [29,30]. Los datos provenientes de un estudio posterior revelaron que la incorporación de entrenamiento de sobrecarga al programa de ejercicio de un atleta de resistencia bien entrenado, también provocaba mejoras del 30% en la fuerza de las piernas y del 11% en el rendimiento en series de ciclismo de corta duración [18]. Más aún, como se pudo establecer a través de la medición del tiempo hasta el agotamiento al 80% de VO_2 máx., el programa de entrenamiento aumentó en un 20% la capacidad en series de ciclismo de corta duración.

Datos que demuestran que el entrenamiento de sobrecarga incrementa en un 33%, el tiempo hasta el agotamiento al 75% de VO_2 máx. en individuos no entrenados, respaldan estos resultados [63]. Es importante mencionar que la variación media en el VO_2 máx. absoluto en los estudios mencionados fue de solo 2% [7, 18, 29, 63], lo que indica que la variación en VO_2 máx. no contribuyó con el aumento en la capacidad de resistencia.

No se conoce cuales son las adaptaciones musculares responsables de los aumentos en la potencia anaeróbica y en la capacidad de resistencia de corta duración. Desde una perspectiva amplia, el aumento en la potencia anaeróbica está muy correlacionado con el aumento en la fuerza de las piernas [61, 64, 65]. Desde la perspectiva celular, volvamos a la hipótesis elucidada en la sección anterior sobre la carrera: a saber, los cambios en el tamaño de las fibras, proporción de fibras tipo II y propiedades contráctiles de las fibras musculares, inducidos por el entrenamiento de sobrecarga permitirían a los individuos realizar ejercicio durante un tiempo más prolongado a una dada tasa de trabajo submáxima absoluta, reduciendo la contribución de fuerza de cada fibra muscular activa o usando menos fibras. En conjunto, los cambios en las fibras musculares pueden también permitir a los individuos retrasar el reclutamiento de las fibras tipo II menos eficientes.

Datos adicionales que corroboran nuestra hipótesis provienen de un estudio de Marcinik et al. [63], en donde el 33% de aumento en el rendimiento en series de ciclismo de corta duración, inducido por el entrenamiento de sobrecarga, se asoció con un 12% de incremento en el umbral del lactato. De hecho, el contenido medio del lactato sanguíneo era un 30% menor a la misma tasa de trabajo submáxima absoluta luego del entrenamiento. Estos datos reflejan una menor activación global de la musculatura activa y por lo tanto, de sus mitocondrias.

Como resultado, se reduciría la perturbación de la homeostasis celular y también disminuirían la glucógenolisis y la producción de lactato [39, 59]. Es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar si el entrenamiento de sobrecarga puede alterar la economía del ciclismo o el agotamiento de glucógeno en los diferentes tipos de fibras musculares, ya que estos datos nos permitirían discernir si se modifica el patrón de reclutamiento de las fibras.

Rendimiento en Natación

De manera similar a lo que ocurre en la carrera y el ciclismo de competición, la fuerza dinámica es un determinante importante del rendimiento en la natación. Muchos estudios han informado que la fuerza de los miembros superiores y/o la producción de potencia están altamente correlacionadas con la velocidad de nado en distancias que van desde 23 m a 400 m, siendo los valores medios de los coeficientes de correlación 0,87 para la menor distancia y 0,63 para la mayor distancia [66-70]. Por lo tanto, el entrenamiento de sobrecarga, a través de su capacidad para aumentar la fuerza muscular y la potencia anaeróbica, puede mejorar el rendimiento en eventos de natación de resistencia.

De manera similar a lo observado en la carrera y el ciclismo, los estudios preliminares que determinaron el impacto del entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento en natación, emplearon participantes no entrenados. Debido a que muchos de estos estudios preliminares no incluyeron un grupo control o no proporcionaron información sobre el tipo de régimen de ejercicio utilizado como estímulo de entrenamiento [66, 71, 72], sus datos son difíciles interpretar. Los resultados de estudios correctamente controlados, indican que el entrenamiento de sobrecarga tradicional o la

combinación entre entrenamiento de nado y de sobrecarga, no son más efectivos que el entrenamiento solo de natación para mejorar el rendimiento en individuos sedentarios. Por ejemplo, Thompson y Stull [73] observaron una mejora significativa en el rendimiento de natación, como resultado de entrenamiento simultáneo de sobrecarga y natación, pero el grupo que solo realizó entrenamiento de natación (o grupo control) presentó una mejora en el rendimiento mayor que el grupo que realizó los entrenamientos simultáneos. Estos resultados coinciden con lo observado en un informe donde no se observaron diferencias en una prueba de natación de resistencia de 15 minutos, entre el grupo que solo realizó entrenamiento de natación y el grupo que realizó entrenamiento de sobrecarga y natación combinados [72].

Recientemente, se estudiaron los efectos de la combinación entre entrenamiento de natación y de sobrecarga tradicional sobre el rendimiento, utilizando nadadores universitarios de nivel competitivo. [74]. Aunque el entrenamiento combinado incrementó la fuerza de los miembros superiores del cuerpo en un 30%, no mejoró los tiempos de esprint ni produjo menores niveles submáximos de lactato sanguíneo en comparación con el entrenamiento solo de natación. Se especuló que el aumento en la fuerza inducido por el programa de entrenamiento de sobrecarga no se tradujo en un mejor rendimiento, debido a que la brazada de la natación es muy técnica, es decir, el entrenamiento de sobrecarga tradicional no es lo suficientemente específico para mejorar el rendimiento de natación.

Esta hipótesis se apoya en datos que demuestran que en nadadores de nivel competitivo, el entrenamiento combinado de natación y de sobrecarga específico para la natación ("acuático") aumenta más el rendimiento que el entrenamiento de natación o el entrenamiento de natación combinado con entrenamiento de sobrecarga tradicional [70,75]. En estos estudios, el ejercicio de sobrecarga específico de natación incluyó: entrenamiento en un banco de natación biocinético, nado contra la corriente en un canal de natación y dispositivos acuáticos que los atletas empujan hacia fuera mientras nadan. Datos adicionales demostraron que en niños bien entrenados, el entrenamiento de sobrecarga acuático era más beneficioso que el entrenamiento de sobrecarga en tierra [76].

Los datos del mencionado estudio indican que el entrenamiento de sobrecarga tradicional o el entrenamiento de sobrecarga combinado con entrenamiento de nado, no mejora la resistencia en los nadadores de nivel competitivo. De manera contraria, el entrenamiento de natación combinado con entrenamiento de sobrecarga específico para la natación, especialmente si es realizado 'en el agua', mejora la velocidad de un nadador de competición, en distancias de hasta 200 m [70]. Se desconocen los efectos del entrenamiento de natación combinado con entrenamiento de sobrecarga acuático sobre el rendimiento en distancias mayores. Notablemente, el entrenamiento de sobrecarga tradicional y el específico de natación en tierra provocaron mayores aumentos en la fuerza de los miembros superiores del cuerpo que el entrenamiento de sobrecarga en el agua, mientras que la última modalidad de entrenamiento afectó de manera favorable a los factores asociados con la mecánica de la brazada, tales como la fuerza de las mismas y la distancia por brazada [70, 74, 76]. Estos datos refuerzan la discusión acerca de que la mecánica de la brazada/la técnica de la brazada es un importante determinante del éxito en la natación, e implica que puede ser más importante que la fuerza de los miembros superiores del cuerpo en la determinación de la velocidad de nado [70, 74, 76-78].

CONCLUSION

El entrenamiento de sobrecarga tradicional puede ser una metodología adicional valiosa para los programas de ejercicio seguidos por los corredores y ciclistas, debido a que mejora la potencia anaeróbica y la capacidad de resistencia a corto y largo plazo, tanto en los atletas sedentarios como en los entrenados. No se sabe aún, si el entrenamiento de sobrecarga mejora el rendimiento de resistencia en ciclistas o corredores de elite. No obstante, los datos sugieren que el entrenamiento de sobrecarga puede ser útil como una forma de entrenamiento cruzado para estos atletas, particularmente fuera de temporada, cuando requieren un descanso de su modalidad de ejercicio habitual, a la vez que también necesitan mantener la fuerza, potencia y capacidad de trabajo muscular. El beneficio de los ejercicios de sobrecarga practicados durante todo el año es un aspecto que no ha sido resuelto y que no puede ser abordado hasta que se compare el entrenamiento de sobrecarga con el entrenamiento intervalado específico de cada deporte.

En contraste, el entrenamiento de sobrecarga tradicional (en tierra) o el entrenamiento de natación combinado con entrenamiento de sobrecarga no parecen mejorar el rendimiento de resistencia en natación, en nadadores desentrenados o de nivel competitivo. Sin embargo, la combinación entre entrenamiento de natación y de sobrecarga acuático, aumenta la velocidad de un nadador de nivel competitivo en diferentes distancias durante la temporada, lo que implica que este tipo de entrenamiento de sobrecarga es una forma valiosa de entrenamiento cruzado a lo largo del año.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Dr Hirofumi Tanaka, Department of Kinesiology, University of Colorado at Boulder, Boulder, CO 80309-0354, Estados Unidos. Correo electrónico: tanakah@colorado.edu.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los Drs Jeffrey Widrick y Edward Howley por sus valiosos comentarios.

REFERENCIAS

1. McCafferty W. B., Horvath S. M (1977). Specificity of exercise and specificity of training: a subcellular review. *Res Q* 48 (2): 358-71
2. Burke E. B (1983). Improved cycling performance through strength training. *Natl Strength Cond Assoc J* 5 (3): 6-7, 70-71
3. Bulbulian R., Wilcox A. R., Darabos B. L (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Med Sci Sports Exerc* 18 (1): 107-18
4. Daniels J., Scardina N (1984). Interval training and performance. *Sports Med* 1: 327-34
5. Tanaka H (1994). Effects of cross-training: transfer of training effects on VO₂ max between cycling, running and swimming. *Sports Med* 18 (5): 330-9
6. Staron R. S., Leonardi M. J., Karapondo D. L., et al (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol* 70 (2): 631-40
7. Kraemer W. J., Patton J. F., Gordon S. E., et al (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78 (3): 976-89
8. MacDougall J. D (1986). Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. In: Jones NL, McCartney N, McComas AJ, editors. Human muscle power. *Champaign (IL): Human Kinetics Publishers, 269-85*
9. Houston M. E., Froese E. A., Valeriote S. P., et al (1983). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *Eur J Appl Physiol* 51: 25-35
10. Tesch P. A., Komi P. V., Hakkinen K (1987). Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *Int J Sports Med* 8: 66-9
11. Goldberg A. L., Etlinger J. D., Goldspink D. F., et al (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports* 7: 185-98
12. Gonyea W. J., Sale D (1982). Physiology of weight-lifting exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 63: 235-7
13. Widrick J. J., Trappe S. W., Costill D. L., et al (1996). Force-velocity and force-power properties of single muscle fibers from elite master runners and sedentary men. *Am J Physiol* 271: C676-83
14. Widrick J. J., Trappe S. W., Blaser C. A., et al (1996). Isometric force and maximal shortening velocity of single muscle fibers from elite master runners. *Am J Physiol* 271: C666-75
15. Fitts R. H., Widrick J. J (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise- training. In: Holloszy JO, editor. Exercise and sport sciences reviews. Vol. 24. *Baltimore: Williams and Wilkins, 427-73*
16. Abernethy P. J., Jurimae J., Logan P. A., et al (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med* 17 (1): 22-38
17. Klitgaard H., Zhou M., Richter E. A (1990). Myosin heavy chain composition of single fibres from m. biceps brachii of male body builders. *Acta Physiol Scand* 140: 175-80
18. Hickson R. C., Dvorak B. A., Gorostiaga E. M., et al (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 65 (5): 2285-90
19. Nelson A. G., Arnall D. A., Loy S. F., et al (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther* 70 (5): 287-94
20. Tesch P. A., Thorsson A., Colliander E. B (1990). Effects of eccentric and concentric resistance training on skeletal muscle substrates, enzyme activities and capillary supply. *Acta Physiol Scand* 140: 575-80
21. Thorstensson A., Hulten B., Doblen W. V., et al (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fiber characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 96: 392-8
22. Saltin B., Gollnick P. D (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Peachey LD, Adrian RH, Geiger SR, editors. Handbook of physiology. Section 10: skeletal muscle. *Bethesda (MD): American Physiological Society, 555-631*
23. Luthi J. M., Howald H., Claassen H., et al (1986). Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *J Sports Med* 7: 123-7
24. Hather B. M., Tesch P. A., Buchanan P., et al (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand* ; 143: 177-85
25. Schantz P (1982). Capillary supply in hypertrophied human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 114: 635-7
26. Tesch P. A., Thorsson A., Kaiser P (1984). Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *J Appl Physiol* 56 (1): 35-8
27. MacDougall J. D., Ward G. R., Sale D. G., et al (1977). Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol* 43 (4): 700-3
28. Hickson R. C (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45: 255-63
29. Hickson R. C., Rosenkoetter M. A., Brown M. M (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc* 12 (5): 336-9
30. Duchateau J., Hainaut K (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J*

31. Gettman L. R., Ayres J. J., Pollock M. L., et al (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports* 10 (3): 171-6
32. Gettman L. R., Ayres J. J., Pollock M. L., et al (1979). Physiologic effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Arch Phys Med Rehabil* 60: 115-20
33. Gettman L. R., Ward P., Hagan R. D (1982). A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc* 14 (3): 229-34
34. Wilmore J. H., Parr R. B., Girandola R. N., et al (1978). Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports* 10 (2): 79-84
35. Hurley B. F., Seals D. R., Ehsani A. A., et al (1984). Effects of high intensity strength training on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc* 16 (5): 483-8
36. Hunter G., Demment R., Miller D (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J Sports Med* 27 (3): 269-75
37. Dudley G. A., Djamil R (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol* 59 (5): 1446-51
38. Holloszy J. O., Coyle E. F (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56 (4): 831-8
39. Simoneau J. A., Lortie G., Boulay M. R., et al (1985). Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol* 54: 250-3
40. Tesch P. A., Karlsson J (1985). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *J Appl Physiol* 59 (6): 1716-20
41. Howald H., Hoppeler H., Claassen H., et al (1985). Influences of endurance training on the ultrastructural composition of the different muscle fiber types in humans. *Pflugers Arch* 403: 369-76
42. Fitts R. H., Costill D. L., Gardetto P. R (1989). Effect of swim exercise training on human muscle fiber function. *J Appl Physiol* 66: 465-75
43. Gollnick P. D., Armstrong R. B., Saltin B., et al (1973). Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34 (1): 107-11
44. Fitts R. H., Holloszy J. O (1977). Contractile properties of rat soleus muscle: effects of training and fatigue. *Am J Physiol* 233: C86-91
45. Fitzsimons D. P., Diffe G. M., Herrick R. E., et al (1990). Effects of endurance exercise on isomyosin patterns in fast- and slow-twitch skeletal muscle. *J Appl Physiol* 68 (5): 1950-5
46. Staron R. S (1991). Correlation between myofibrillar ATPase activity and myosin heavy chain composition in single human muscle fibers. *Histochemistry* 96: 21-4
47. Morgan D. W., Bransford D. R., Costill D. L., et al (1995). Variations in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Med Sci Sports Exerc* 27 (3): 404-9
48. Costill D. L (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J Sports Med* 7: 61-6
49. Jones N. L., McCartney N (1986). Influence of muscle power on aerobic performance and the effects of training. *Acta Med Scand* 711 Suppl.: 115-22
50. Ono M., Miyashita M., Asami T (1976). Inhibitory effect of long distance running training on the vertical jump and other performances among aged males. In: Komi P, editor. *Biomechanics V-B*. Baltimore: University Park Press, 94-100
51. Stone J., Brannon T., Haddad F., et al (1996). Adaptive responses of hypertrophying skeletal muscle to endurance training. *J Appl Physiol* 81 (2): 665-72
52. Riedy M., Moore R. L., Gollnick P. D (1985). Adaptive response of hypertrophied skeletal muscle to endurance training. *J Appl Physiol* 1985; 59 (1): 127-31
53. Noakes T. D (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 20 (4): 319-30
54. Komi P. V., Viitasalo J. T., Rauramaa R., et al (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol* 40: 45-55
55. Moritani T., deVries H. A (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Physical Med* 58 (3): 115-30
56. Johnston R. E., Quinn T. J., Kertzer R. , et al (1995). Improving running economy through strength training. *Strength Cond* 17 (4): 7-12
57. Basmajian J. V., DeLuca C. J (1988). Muscles alive: their functions revealed by electromyography. Baltimore: Williams and Wilkins
58. Coyle E. F (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. In: Holloszy JO, editor. *Exercise and sport sciences reviews*. Vol 23. Baltimore: Williams and Wilkins, 25-63
59. Tanaka H., Bassett J., Swensen T. C., et al (1993). Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation. *Int J Sports Med* 14 (6): 334-8
60. Inbar O., Kaiser P., Tesch P (1981). Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *Int J Sports Med* 2: 154-9
61. Petersen S. R., Miller G. D., Wenger H. A., et al (1984). The acquisition of muscular strength: the influence of training velocity and initial VO₂ max. *Can J Appl Sport Sci* 9 (4): 176-80
62. Marcinik E. J., Potts J., Schlabach G., et al (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 23 (6): 739-43
63. Rutherford O. M., Greig C. A., Sargeant A. J., et al (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *J Sports Sci* 4: 101-7

64. Smith D. J (1987). The relationship between anaerobic power and isokinetic torque outputs. *Can J Sports Sci* 12 (1): 3-5
65. Costill D., Sharp R., Troup J (1980). Muscle strength: contributions to sprint swimming. *Swim World* 21: 29-34
66. Hawley J. A., Williams M. M (1991). Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *Int J Sports Med* 1991; 12 (1): 1-5
67. Davis J. F (1959). Effects of training and conditioning for middle distance swimming upon various physical measures. *Res Q* 30 (4): 399-412
68. Sharp R. L., Troup J. P., Costill D. L (1982). Relationship between power and freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc* 14 (1): 53-6
69. Toussaint H. M., Vervoorn K (1990). Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *Int J Sports Med* 11 (3): 228-33
70. Davis J. F (1955). The effect of weight training on speed in swimming. *Physical Educator* 12: 28-9
71. Nunney D. K (1960). Relation of circuit training to swimming. *Res Q* 31 (2): 188-98
72. Thompson H. L., Stull G. A (1959). Effects of various training programs on speed of swimming. *Res Q* 30 (4): 479-85
73. Tanaka H., Costill D. L., Thomas R., et al (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc* 25 (8): 952-9
74. Kiselev A. P (1991). The use of specific resistance in highly qualified swimmers[] strength training. *Sov Sports Rev* 26 (3): 131-2
75. Bulgakova N. Z (1990). Vorontsov A. R., Fomichenko T. G. Improving the technical preparedness of young swimmers by using strength training. *Sov Sports Rev* 25 (2): 102-4
76. Costill D. L., Kovaleski J., Porter D., et al (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 6 (5): 266-70
77. Craig A. B., Skehan P. L., Pawelczyk J. A., et al (1940). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc* 17 (6): 625-34

Cita Original

Hirofumi Tanaka and Thomas Swensen. Impact of Resistance Training on Endurance Performance: A New Form of Cross-Training?. *Sports Med*; 25 (3): 191-200, 1998.