

Article

El Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad de Ciclismo Aumenta el Rendimiento Durante las Etapas de Ciclismo y Running de Triatletas

Naroa Etxebarria^{1,2}, Judith M. Anson², David B. Pyne^{2,3} y Richard A. Ferguson³¹*School of Sport, Exercise and Health Sciences, Loughborough University, Loughborough, UK*²*National Institute of Sports Studies (NISS), Faculty of Health, University of Canberra, Canberra, Australia*³*Department of Physiology, Australian Institute of Sport, Canberra, Australia*

RESUMEN

El desarrollo de un entrenamiento de ciclismo eficaz para los triatlones es un desafío para los entrenadores. Comparamos los efectos de dos variantes de entrenamiento intervalado de alta intensidad de ciclismo (HIT) sobre las etapas de ciclismo y carrera (*running*) específicas de un triatlón. Catorce triatletas masculinos moderadamente entrenados (VO_{2max} $58,7 \pm 8,1$ mL $kg^{-1} min^{-1}$; Media \pm SD) realizaron en ocasiones separadas un test incremental máximo (VO_{2max} y potencia aeróbica máxima), 16 esprints x 20 seg de ciclismo y ejercicios de ciclismo específico de triatlón durante 1h seguidos inmediatamente por una prueba contrarreloj de carrera de 5 km. Luego los participantes fueron divididos en dos y fueron asignados al azar a una intervención de entrenamiento de ciclismo de alta intensidad de larga duración (LARGO) (6-8 esfuerzos x 5 min) o a un entrenamiento intervalado de ciclismo de alta intensidad de corta duración (CORTO) (9-11 esfuerzos x 10, 20 y 40 s). Se completaron seis sesiones de entrenamiento a lo largo de 3 semanas antes de que los participantes repitieran la evaluación realizada al inicio del estudio. Ambos grupos presentaron un aumento de ~7% en el VO_{2max} (CORTO 7,3%, $\pm 4,6\%$; media, $\pm 90\%$ límites de confianza; LARGO 7,5%, $\pm 1,7\%$). Se observó una mejora moderada en la potencia tanto del grupo de entrenamiento CORTO (10,3%, $\pm 4,4\%$) como en el grupo de entrenamiento LARGO (10,7%, $\pm 6,8\%$) durante los últimos ocho esprints de 20 s. Se observó una disminución pequeña a moderada en la frecuencia cardíaca, el lactato sanguíneo y esfuerzo percibido en ambos grupos durante el ejercicio de ciclismo de 1h específico de triatlón pero sólo el grupo LARGO presentó una disminución sustancial en tiempo de carrera de 5-km subsiguiente (64 ± 59 s). Los triatletas moderadamente entrenados deberían utilizar el entrenamiento intervalado de alta intensidad de larga y corta duración para mejorar la fisiología y el rendimiento en ciclismo. Intervalos de duración superior a 5 min en la bicicleta tienen mayor probabilidad de ejercer efectos beneficiosos sobre el rendimiento en las carreras de 5 km.

Palabras Clave: Potencia variable, triatlón olímpico, resistencia, ciclismo

INTRODUCCION

El triatlón Olímpico es un deporte de resistencia de ~2-h y las tres secciones (natación, ciclismo, carrera) requieren una

aptitud aeróbica muy desarrollada. La gran cantidad de esprints casi máximos que se realizan durante la sección de ciclismo de 1 hora del triatlón se ha vuelto mas importante en los últimos años debido al *drafting*, a las tácticas individuales y de equipo utilizadas, a los circuitos de ciclismo en diferentes terrenos y tipos de cráteriums con curvas cerradas. Estas características constituyen un perfil de potencia altamente variable entre los que se incluye esfuerzos en potencia aeróbica supramáxima, por encima de la máxima (MAP), y otros esfuerzos de alta intensidad en las competencias (Bernard et al., 2009), lo que los diferencia de otros eventos tales como las pruebas contrarreloj o el ciclismo de ruta. Las variaciones en la potencia frecuentemente son abruptas debido a aceleraciones y desaceleraciones continuas, especialmente en un recorrido técnico con tácticas de carrera dinámicas.

El VO_{2max} durante ciclismo es una de las variables fisiológicas que mejor se correlaciona ($r = 0,86$) con el rendimiento en el triatlón olímpico (Bailey, Pearce, Etxebarria, y Ingham, 2007). Por consiguiente, para los triatletas el aumento en el VO_{2max} y subsecuentemente en la producción de potencia máxima es una meta importante. Aumentar la capacidad máxima de un atleta podría traducirse en bajar la intensidad relativa de la sección de ciclismo, lo que permitiría una mayor producción de potencia durante el ciclismo y/o podría beneficiar la sección subsiguiente de carrera en el triatlón de fondo olímpico. Por consiguiente, dado que la salida de una carrera después de la sección de ciclismo específica del triatlón-se ve negativamente afectada por las variaciones en la potencia de la etapa de ciclismo precedente (Etxebarria, Anson, Pyne y Ferguson, 2013), las menores intensidades relativas del ciclismo (con la misma carga de trabajo absoluta) proporcionarían a los atletas una ventaja al ingresar a la sección de carrera con una menor fatiga relativa. Los esfuerzos de elevada producción de potencia frecuentemente se ven afectados durante las últimas etapas de ciclismo del triatlón (Bernard et al., 2009) para lo cual sería favorable mejorar la capacidad de realizar esprints repetidos. Mejorar la capacidad aeróbica máxima también podría ayudar con la velocidad de recuperación entre los esfuerzos de alta intensidad (Tomlin y Wenger, 2001) y/o podría minimizar la disminución a lo largo del tiempo en la potencia máxima durante los esprints repetidos.

Debido a las respuestas fisiológicas y a las demandas físicas específicas del triatlón descritas recientemente (Etxebarria, Anson, et al., 2013; Etxebarria, Hunt, Ingham, y Ferguson, 2013), se ha incrementando el estudio de las intervenciones de entrenamiento que permitan mejorar el rendimiento. La capacidad aeróbica y la capacidad de realizar esprints repetidos en ciclismo como consecuencia de la práctica de ciclismo en circuitos cerrados (Ebert, Martin, Stephens y Withers, 2006) son aspectos importantes en las competencias de triatlón. Por otra parte, el entrenamiento para un deporte multidisciplinario como el triatlón es un desafío y requiere mucho tiempo. El entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIT) puede ser utilizado para mejorar la salud en menos tiempo y con un menor volumen de entrenamiento, que el entrenamiento tradicional de resistencia (Hawley, Myburgh, Noakes y Dennis, 1997). Este método de entrenamiento se utiliza normalmente en los deportes individuales como *running* y ciclismo, pero no se sabe con certeza cual es el mejor programa de HIT para mejorar el rendimiento en los eventos multidisciplinarios como el triatlón.

La metodología de entrenamiento de la resistencia HIT estratifica el entrenamiento desde una intensidad muy baja hasta intensidades muy altas como elemento fundamental para una estrategia de entrenamiento óptima de los atletas altamente entrenados que compiten en los eventos de resistencia (Laursen, 2010). El HIT también permite a los atletas acumular tiempo en intensidades altas de entrenamiento que son difíciles de alcanzar al entrenar de manera continua (Billat et al., 2000). Además, la eficiencia de tiempo del HIT se ajusta a un deporte multidisciplinario como el triatlón. Sin embargo, la especificidad y grado de adaptación al HIT dependen del número de repeticiones y sesiones, y de la duración e intensidad de los esfuerzos (Gibala, Little, Macdonald, y Hawley, 2012).

Se desconoce cual es la forma de HIT que puede producir las mejores adaptaciones específicas para triatlón y según nuestros conocimientos, ningún trabajo previo estudió de manera directa el efecto que tiene el HIT sobre el rendimiento en ciclismo y en *running* en triatletas.

Los entrenamientos HIT pueden contemplar intervalos mas cortos (~30 s) o más largos (5 min). En trabajos preliminares realizados con ciclistas altamente entrenados que utilizaron intervalos de entrenamiento de 5 min, Hawley et al. (1997) observaron un aumento de ~5% en VO_{2max} y Lindsay et al., (1996) observaron un aumento de ~4% en la producción de potencia máxima. Además, tanto los intervalos cortos (Stepto, Hawley, Dennis, y Hopkins, 1999) como los mas largos (Lindsay et al., 1996; Stepto et al., 1999) mejoraron en 8% el rendimiento en pruebas contrarreloj de ~1 hora de ciclismo en los atletas altamente entrenados. Sin embargo, las demandas fisiológicas del ciclismo realizado a un ritmo auto seleccionado son notablemente diferentes a las de la sección de ciclismo de potencia variable presentes en una competencia triatlón (Bentley, Millet, Vleck, y McNaughton, 2002; Bernard et al. 2009).

Dado que los triatletas realizan numerosos esfuerzos de corta duración y alta intensidad en las competencias, nosotros desarrollamos un programa de entrenamiento enfocado en los esfuerzos específicos del triatlón. Buscamos determinar si los esfuerzos intervalados cortos repetidos (10, 20 y 40 s) producen aumentos similares en el triatlón en comparación con el formato de intervalos largos de 5 minutos que se utiliza en ciclismo. Por consiguiente, nosotros investigamos los efectos de seis sesiones de HIT corto y largo sobre las variables fisiológicas y de rendimiento en la etapa de ciclismo y en la etapa posterior de carrera de 5 km.

MÉTODOS

Participantes

Un total de 14 triatletas masculinos moderadamente entrenados participaron en esta investigación controlada realizada en laboratorio. Las características físicas de los sujetos fueron: Edad 33 ± 8 años, talla $1,82\pm 0,08$ m, masa corporal $77,6\pm 9,7$ kg, VO_{2max} $4,50\pm 0,46$ L min^{-1} o $58,7\pm 8,1$ mL kg^{-1} (Media \pm SD). Los participantes tenían 2-3 años de experiencia en entrenamiento de ciclismo y *running*, se encontraban compitiendo principalmente en carreras sin *drafting* y aportaron un diario con sus actividades de entrenamiento realizadas por fuera de la intervención de entrenamiento experimental. Se solicitó a los participantes que evitaran realizar cualquier ejercicio físico, consumir cafeína o alcohol y reproducir la misma práctica dietética en las 24 h previas a cada evaluación experimental. El estudio fue aceptado por el Comité Asesor de Ética de la Universidad de Loughborough y el Comité de Ética para las Investigaciones Humanas de la Universidad de Canberra. Todos los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado antes de participar en el estudio.

Protocolos de las Pruebas realizadas al Inicio (línea de base) y luego del Entrenamiento (Post-entrenamiento)

La recolección de todos los datos experimentales se llevó a cabo en primavera después del entrenamiento invernal. Los participantes realizaron tres pruebas experimentales diferentes en ocasiones separadas, con un lapso de por lo menos 48 h entre cada prueba. Primero, los participantes realizaron un test incremental máximo para determinar MAP y VO_{2max} en una bicicleta ergométrica con freno electromagnético (*Excalibur Sport, Lode, Países Bajos*) que fue ajustada respetando las posiciones habituales de sus propias bicicletas. Después de una entrada en calor de 10-min a 125 watt (W), se inició el test con una potencia de 150 W con incrementos de 5 W cada 15 s hasta el agotamiento volitivo.

En un día diferente se evaluó la capacidad de realizar esprints repetidos en una bicicleta ergométrica realizada a pedido frenada por aire (Instituto Australiano de Deportes (AIS), Canberra, Australia) equipada con los sistemas de pedales de los atletas y ajustada con las posiciones habituales de los atletas. Luego de una entrada en calor de 10-min a 125 W los participantes realizaron 4 series de 4 esprints máximos x 20 seg (16 en total) con 40 s de recuperación activa (pedaleo a 50-75 W) entre los esfuerzos. Se contempló un descanso de 8 min después de los primeros 8 esprints, y 3 min entre la 1ra-2da y 3ra-4ta series. Se solicitó a los participantes que realizaran los primeros 8 esprints a un trabajo equivalente a 150% MAP para asegurar que podrían completar exitosamente los últimos 8 esprints.

Finalmente, los participantes realizaron un ejercicio de pedaleo de 1-h con potencia variable (Figura 1) y una prueba contrarreloj de carrera de 5 km en una pista al aire libre de 2 vueltas (2500 m cada vuelta). La prueba contrarreloj de ciclismo de 1-h se realizó en la misma bicicleta ergométrica con freno electromagnético utilizada en la prueba de MAP. La prueba de 1 hora fue realizada a una producción de potencia media de 65% MAP, simulando la intensidad relativa que se observa durante un triatlón de distancia olímpica (Le Meur et al., 2009), y consistió en un total de 30 esfuerzos de alta intensidad (85-140% MAP) de diferente intensidad y duración: 10 s a 140% MAP, 40 s a 110% MAP, 90 s a 85% MAP, 20 s a 120% MAP y 30 s a 130% MAP. Estos esfuerzos se alternaron con series de 60 o 70 s de períodos de baja intensidad (40-60% MAP). Las tres pruebas, el MAP, esprints repetidos, y el ejercicio de 1-h de ciclismo seguido por una carrera de 5 km, fueron repetidos en el mismo orden 5-6 días después de finalizar la intervención de entrenamiento. El protocolo de potencia variable se realizó en la misma producción de potencia absoluta que se utilizó al inicio. Todas las mediciones de rendimiento fueron similares a las utilizadas durante los entrenamientos que los participantes realizan habitualmente y por consiguiente no consideramos necesario realizar pruebas de familiarización.

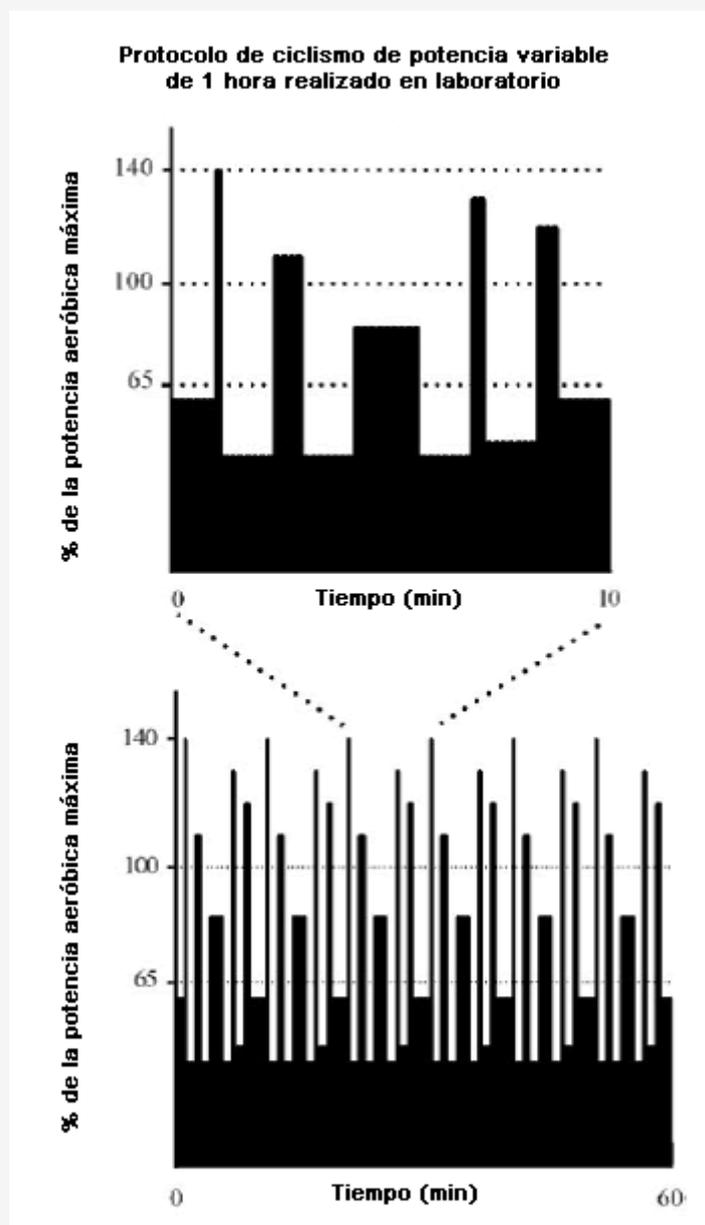


Figura 1. En la parte superior de la figura se presenta un esquema de una sección representativa de 10 min del protocolo de ejercicios de ciclismo de potencia variable de 1 h (VAR) en el cual se observan los intervalos cortos de elevada intensidad. En la parte inferior se presenta el protocolo de potencia de 1 h (VAR) para la prueba experimental de potencia variable que consistió en 30 esfuerzos de entre 10 y 90 segundos con intensidades de ejercicio entre 40 y 140 % MAP.

Intervenciones de Entrenamiento

Una vez que se realizó la evaluación al inicio del estudio, los participantes fueron agrupados según la MAP y la masa corporal, y fueron asignados al azar a un grupo experimental de entrenamiento intervalado de alta intensidad corto (CORTO) ($n = 7$) o a un grupo de control activo de entrenamiento intervalado de alta intensidad largo (LARGO) ($n = 7$). Cada grupo realizó 6 sesiones durante 3 semanas (2 sesiones por semana) de entrenamiento CORTO o LARGO. Nosotros evaluamos la efectividad de la intervención de entrenamiento intervalado CORTO utilizando el entrenamiento intervalado LARGO como grupo control activo. Ambos programas de entrenamiento fueron aplicados de manera progresiva en los cuales la carga se incrementó todas las semanas. Se solicitó a los participantes que se abstuvieran de realizar cualquier otro trabajo de alta intensidad durante su programa de entrenamiento y se los instruyó para que continuaran con su entrenamiento habitual. Las sesiones de entrenamiento supervisadas se realizaron en una bicicleta ergométrica estacionaria (*Wattbike, Nottingham, REINO UNIDO - Versión 2,50.49*, con error típico en producción de potencia de 1-5%). Cada sujeto utilizó la misma bicicleta ergométrica en las seis sesiones, sólo con fines de entrenamiento.

Todos los participantes realizaron una entrada en calor de 10-min a ~125 W que incluyó 3 esfuerzos casi máximos x 10 seg (grupo CORTO) y un esfuerzo sostenido de 45 s (grupo LARGO). Luego el grupo CORTO realizó una serie de 3 repeticiones de esfuerzos máximos (10, 20 y 40 s) con una relación trabajo/recuperación de 1:3; una serie de 3 repeticiones con una relación trabajo/recuperación de 1:2 y una tercer serie de 3 repeticiones con una relación trabajo/recuperación 1:2 en la primer semana. En la segunda semana se agregó una repetición extra en la serie 1:3 y en la tercer semana una repetición extra en la serie 1:2. El grupo LARGO realizó 6 esfuerzos de 5 min (6x5) en una potencia de 80% VO_{2max} con 1 min de recuperación entre los esfuerzos en la primer semana, 7 x 5 min en la segunda semana y 8x5 min en la tercer semana.

Mediciones Antropométricas y Fisiológicas

La altura y la masa corporal fueron determinadas en la primera visita al laboratorio. El aire expirado fue recolectado durante el test de ciclismo progresivo máximo mediante un sistema de calorimetría indirecta de circuito abierto construido a pedido descrito previamente (Saunders, Pyne, Telford, y Hawley, 2004). La tasa de muestreo se fijó en 30 s y se utilizó la media de las dos lecturas consecutivas más altas para determinar el VO_{2max} de un individuo durante la prueba progresiva máxima.

La frecuencia cardíaca (HR) y el índice de esfuerzo percibido (RPE) se registraron junto con la obtención de las muestras de sangre capilar de 5µl extraída de la yema de los dedos para la determinación del lactato a los 20, 40 y 60 min del test de ciclismo de 1-h y al final del test progresivo máximo excepto para el RPE. Además se tomó una muestra de sangre inmediatamente después de la prueba contrarreloj de carrera de 5 km. La frecuencia cardíaca (HR) se registró con un monitor de HR marca Polar (*Polar Heart Rate Monitor, Kempele, Finlandia*) y la concentración de lactato sanguíneo se analizó con un analizador *Lactate Pro (Arkray, Kyoto, Japón)*. El índice de esfuerzo percibido (RPE) se registró con una escala de 0 (ningún esfuerzo) a 10 (esfuerzo máximo). Se solicitó a los participantes que tasaran su esfuerzo en una escala entre 0 y 100% al final de la carrera de 5 km, donde 0% significaba “ningún esfuerzo en absoluto” y 100% indicaba “dar absolutamente todo”. Los participantes también usaron una escala analógica visual de 1-5 para indicar cómo se sentían físicamente donde 1 significaba “terrible” y 5 “fantástico” (*AIS, Effort Sensation Scale, Versión 2.10, enero de 2010*).

Análisis Estadísticos

Los datos descriptivos se presentan en forma de Media±SD. Se utilizó un enfoque analítico para determinar significancia practica/clínica utilizando inferencias basadas en la magnitud y precisión de la estimación (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009). La precisión de la estimación se indicó con límites de confianza de 90% (CL). La diferencia entre los dos grupos en cualquier momento se expresó en forma de porcentaje con respecto a la puntuación obtenida al inicio por medio de análisis de los valores que fueron transformados con la función log, con el fin de reducir el sesgo que surge de la no uniformidad del error. Las diferencias estandarizadas de las puntuaciones o el tamaño de efecto entre los grupos se interpretaron según el siguiente criterio: <0,2 trivial, 0,2-0,6 pequeño, 0,6-1,2 moderado, 1,2-2,0 grande y >2,0 muy grande (Hopkins, 2000). Los efectos fueron inferidos como poco claros cuando su intervalo de confianza tenía ambos valores sustancialmente positivos (+0,2) o sustancialmente negativos (-0,2). Un efecto fue inferido como sustancial siempre que la diferencia fuera significativa y no trivial. Se utilizó el análisis de correlación de Pearson para medir el grado de asociación entre los diferentes marcadores fisiológicos y de rendimiento utilizando una escala de magnitudes (Cohen, 1988): <0,1 trivial, 0,1-0,3 pequeño, 0,3-0,5 moderado, 0,5-0,7 grande. Una correlación se consideró poco clara si el intervalo de confianza contenía los valores -0,1 y +0,1.

RESULTADOS

Intervenciones de Entrenamiento CORTO y LARGO

Por lo que pudimos observar en los registros de entrenamiento los participantes evitaron los ejercicios de alta intensidad fuera de las intervenciones de entrenamiento y cada uno siguió su rutina de *running* habitual (individual) (2-5 h/semana). Durante el período de entrenamiento los participantes del grupo LARGO realizaron sus esfuerzos de 5-min en una producción de potencia media de 284±38 W (Media±SD). Aunque los participantes realizaron un esfuerzo extra de 5 minutos cada 2 sesiones, mantuvieron una producción de potencia media similar durante las 3 semanas (semana 1; 283±32 W, semana 2; 283±40 W y semana 3; 286±44 W, equivalente a aprox. 80% de VO_{2max}). El grupo CORTO, a pesar del aumento progresivo en el número de esprints a lo largo de las 6 sesiones, presentó un aumento de ~21%, ±11% (media, límites de confianza ±90%) en la producción de potencia media máxima correspondiente a los 10 s desde la semana 1 a la semana 3 (621±46 a 757±101 W), mientras que la potencia media en los esfuerzos de potencia máxima de 20s (485±50 W, Media±SD) y 40 s (435±34 W) se mantuvo relativamente estable durante las 6 sesiones de HIT. No se observó ninguna alteración de entrenamiento en sus registros que pudiera explicar las diferencias entre los dos grupos

durante sus evaluaciones post entrenamiento

Determinación de Variables en los Entrenamientos con Intervalos CORTO y LARGO

Ambos grupos presentaron un aumento pequeño similar en VO_{2max} (aprox. 7%) y MAP (aprox. 3-6%; Tabla 1). Dos de los participantes no pudieron completar el test MAP post-entrenamiento (n=12) por motivos no relacionados con el estudio. La HR máxima y B_{La} antes y después de la intervención de entrenamiento fueron 181 ± 8 lpm (latidos por minuto) vs. 177 ± 6 lpm y $12,3 \pm 2,6$ vs. $12,1 \pm 3,1$ mmol L⁻¹ (CORTO) y 183 ± 6 vs. 173 ± 9 y $13,5 \pm 1,2$ vs. $14,6 \pm 2,1$ mmol L⁻¹ (LARGO). Por diseño existió una pequeña variación durante los primeros 8 esprints entre las mediciones realizadas al inicio y las realizadas post entrenamiento porque se solicitó a los participantes que alcanzaran el mismo 150% MAP - realizado en un producción de potencia media de 589 ± 42 W para el grupo SHORT y 589 ± 77 W para el grupo LARGO. Ambos grupos presentaron un aumento similar de ~10% en la producción de potencia media durante los esprints 9-16 (Tabla 1). La mejora en la producción de potencia máxima durante los esprints 9-16 también fue similar en ambos grupos (~8%). La Figura 2 presenta la mejora en la producción de potencia media durante las últimos ocho esprints después de las dos intervenciones de HIT.

Tabla 1. Resultados obtenidos al inicio (línea de base) y luego del entrenamiento (post-entrenamiento) en los grupos CORTO y LARGO de VO_{2max} , MAP, producción de potencia media durante los segundos 8 esprints de 20 segundos (8 x20s), producción de potencia máxima durante los segundos 8 esprints de 20 segundos (8 x 20s) y el tiempo de carrera de 5 km luego de ejercicios de ciclismo específicos de triatlón con potencia variable de 1 hora. Nota: Las diferencias en los cambios de puntuaciones de los grupos CORTO (n=7) y LARGO (n=7) entre los valores obtenidos al inicio y los obtenidos luego del entrenamiento no fueron claras en ningún caso. a n=5

	CORTO (10, 20 y 40 s)		Cambio (media %, $\pm 90\%$ CL)	LARGO (esfuerzos de 5 min)		Cambio (media %, $\pm 90\%$ CL)
	Línea de Base	Post-entrenamiento	Inferencia cualitativa	Línea de base	Post Entrenamiento	Inferencia Cualitativa
VO_{2max} (L min ⁻¹)	4,53 \pm 0,41	4,85 \pm 0,35	7,3, \pm 4,6 Pequeña	4,47 \pm 0,54	4,78 \pm 0,41	7,5, \pm 1,7 ^a Pequeña
MAP (%)	393 \pm 36	405 \pm 25	3,1, \pm 3,8 Pequeña	393 \pm 51	415 \pm 53	5,8, \pm 2,1 ^a Pequeña
Esprints (9-16) Potencia media (W)	579 \pm 47	639 \pm 45	10,3, \pm 4,4 Moderada	568 \pm 90	629 \pm 25	10,7, \pm 6,8 Pequeña
Esprints (9-16) Potencia Máxima (W)	773 \pm 143	834 \pm 127	8,0, \pm 7,8 Pequeña	772 \pm 129	838 \pm 143	8,5, \pm 8,5 Pequeña
Tiempo Parcial de 2,5 km (min:seg)	11:02 \pm 2:01	10:39 \pm 1:26	3,0 \pm 9,5 Poco claro	10:52 \pm 1:29	10:10 \pm 1:15	6,3 \pm 5,1 Pequeña
Tiempo en carrera de 5 km (min:seg)	21:35 \pm 3:28	20:55 \pm 2:53	2,8, \pm 3,1 trivial	21:25 \pm 2:47	20:21 \pm 2:31	4,9 \pm 4,7 Pequeña

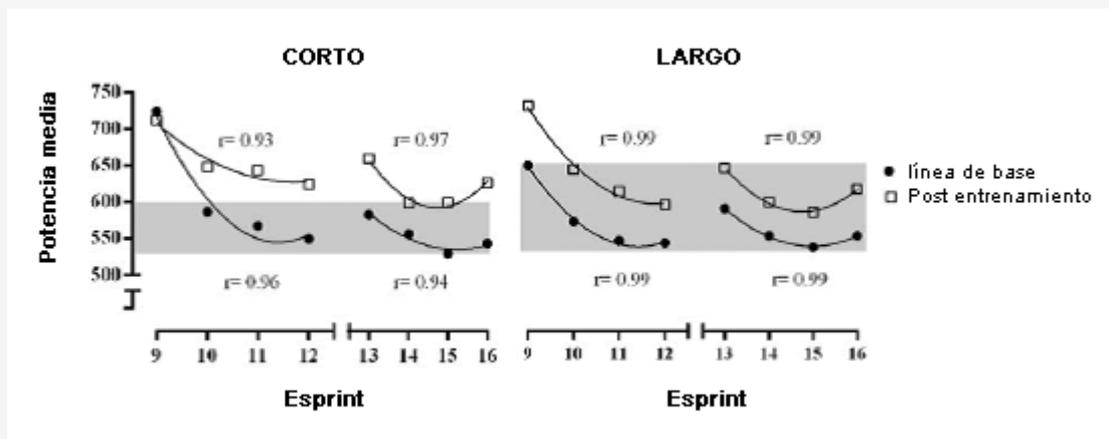


Figura 2. Producción de potencia media (W) durante la segunda mitad de los sprints de 20 s (9-16) antes (línea de base) y después de la intervención de entrenamiento (post-entrenamiento) para los grupos CORTO y LARGO. El área gris-sombreada representa el coeficiente de variación típico entre sujetos. La línea negra representa las líneas de regresión polinómica de segundo orden para los resultados de producción de potencia media obtenidos al inicio del estudio (abajo) y después del entrenamiento (arriba).

La producción de potencia media durante el ciclismo de potencia variable de 1 h previa a la carrera de 5 km en el inicio y después del entrenamiento fue 256 ± 23 W (Media \pm SD) para el grupo CORTO y 255 ± 33 W para el grupo LARGO. El B_{La} y HR durante el ejercicio de ciclismo de 1 hora fue ligeramente menor a los 40 y 60 min después de la intervención de entrenamiento corto y a los 20, 40 y 60 min después de la intervención con intervalos largos (Figura 3). De manera similar, el RPE fue ligeramente menor a los 20, 40 y 60 min después del entrenamiento LARGO, pero sólo ligeramente menor a los 60 min para el grupo CORTO después de la intervención de entrenamiento. Sin embargo, se observaron diferencias poco claras entre los grupos en B_{La} , HR y RPE.

El grupo LARGO experimentó un aumento sustancial (42 ± 33 s, media, $\pm 90\%$ CL) en la marca de 2,5 km y un tiempo de carrera total más rápido de 64 ± 59 s durante los 5 km después de la intervención de entrenamiento. La mejora en el tiempo de carrera para el grupo CORTO fue trivial (Tabla 1) con una diferencia poco clara entre los grupos en los tiempos de carrera de 5 km. El grupo CORTO marcó 94 (Pre) y 97 (Post) y el grupo LARGO marcó 94 (Pre) y 94 (Post) de 100% en la carrera, y ambos grupos informaron que se sentían OK (3/5) en la carrera tanto antes como después de las intervenciones de entrenamiento. El tiempo de carrera de 5 km al inicio (datos de los grupos corto y largo combinados) se correlacionó negativamente con la mejora en el tiempo de carrera de 5 km después de las intervenciones de entrenamiento ($r = -0,42, -0,74$ a $0,05$), lo que sugiere que los corredores menos entrenados registraron los mayores aumentos.

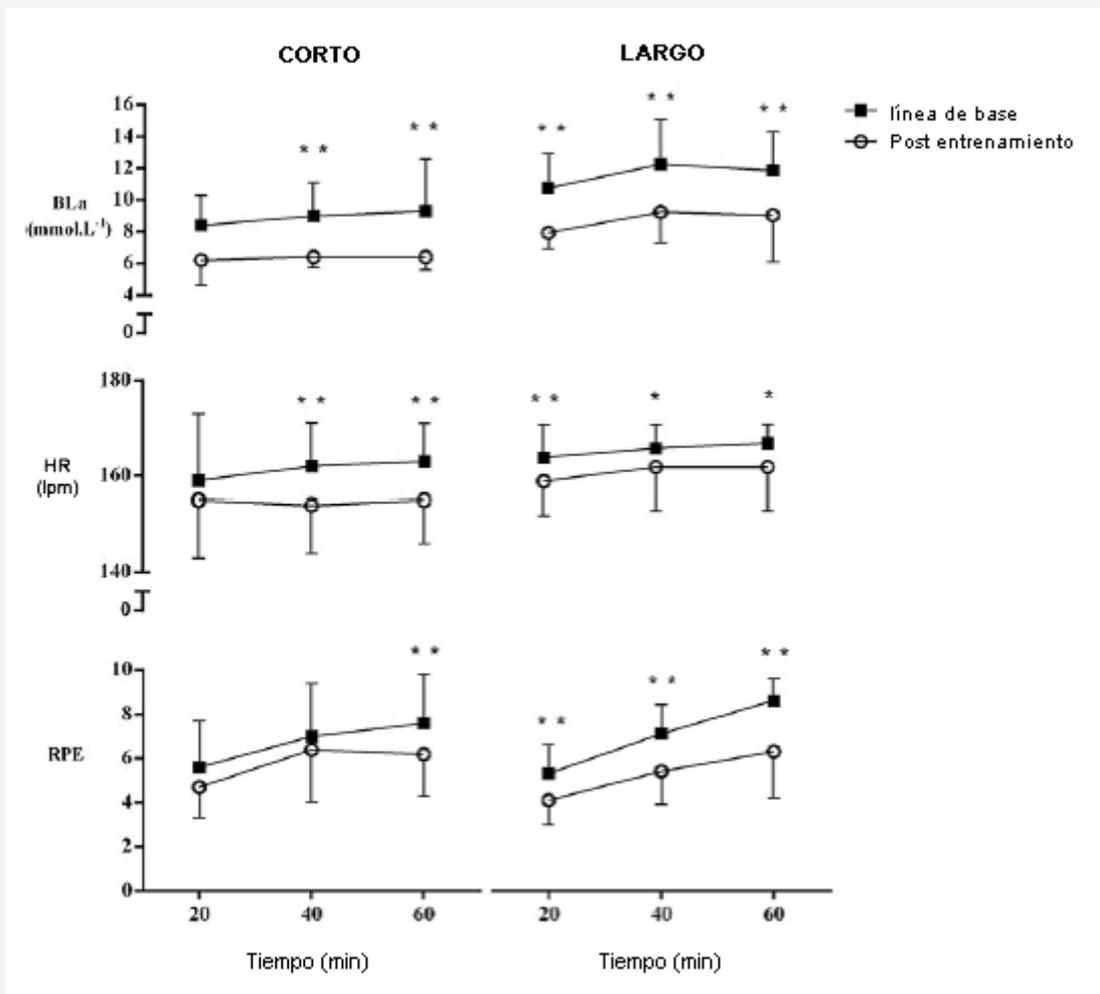


Figura 3. Concentración de lactato sanguíneo (B_{La}) ($mmol L^{-1}$), HR (latidos por minuto) y RPE en los min 20, 40 y 60 del ejercicio de ciclismo con potencia variable de 1 h específico de triatlón antes (línea de base) y después de las intervenciones de entrenamiento CORTO y LARGO. Las diferencias sustanciales (estandarizadas) entre los valores obtenidos antes (línea de base) y después de la intervención de entrenamiento se representan como pequeñas (*), moderadas (**), grandes (***) o muy grandes (****).

DISCUSION

Este estudio demostró que 3 semanas de HIT diseñado con intervalos de ciclismo cortos o largos (control activo) produjeron aumentos pequeños a moderados en el VO_{2max} , la MAP de ciclismo y la capacidad de realizar esprints máximos repetidos en triatletas moderadamente entrenados. El entrenamiento con intervalos más largos (esfuerzos de 5 min) mejoró en 64 s el tiempo de carrera de 5 km después de los ejercicios de ciclismo con potencia variable de 1 hora específicos de triatlón. La principal diferencia de rendimiento entre las intervenciones de entrenamiento corto y largo fue que sólo el grupo LARGO mejoró sustancialmente el tiempo de carrera de 5 km después de 1 hora de ciclismo variable. Observamos una mejora pequeña en el rendimiento de carrera de 5 km en el grupo LARGO a pesar de la baja intensidad y volumen de carrera completados durante las 3 semanas de entrenamiento intervalado de ciclismo. Notablemente la mejora en la capacidad de carrera fue mayor en el parcial de 2,5 km que en los 5 km. Las investigaciones recientes demuestran que la mayor parte del tiempo que se pierde durante las etapas de carrera después del ciclismo con potencia variable específico de triatlón se localiza en la primera mitad del recorrido de 10 km (Etxebarria, Anson, et al., 2013). Por consiguiente, la realización de entrenamiento intervalado largo parecería atenuar la fatiga durante el ciclismo y minimizar las disminuciones en el rendimiento durante las etapas tempranas de la carrera subsiguiente.

El aumento en la capacidad aeróbica máxima después de los entrenamientos HIT de ciclismo (Hawley y Noakes, 1992) y de *running* (Billat et al., 2000) podría estar relacionado con que el atleta acumula períodos largos de tiempo en la intensidad

del VO_{2max} o cerca de la misma en comparación con el entrenamiento de ejercicio continuo. Las dos intervenciones de entrenamiento HIT aumentaron el VO_{2max} lo cual se vio acompañado por un aumento similar en la producción de potencia máxima en nuestros triatletas. La mejora de ~7% en el VO_{2max} con el entrenamiento intervalado CORTO confirma los resultados de un estudio previo realizado con participantes desentrenados (VO_{2max} $2,8 \pm 0,2$ L min^{-1}) en el cual se utilizaron intervalos de alta intensidad de 30 s (Burgomaster et al., 2008). Nuestros datos sugieren que el entrenamiento de alta intensidad con intervalos cortos es aún un estímulo potente para la adaptación, incluso para triatletas moderadamente entrenados.

El aumento de aprox. 11 W en MAP en el grupo LARGO concuerda con lo observado en otros estudios que utilizaron series de trabajo de 5 min (Westgarth-Taylor et al., 1997). El 6% de aumento en MAP en el grupo CORTO apoya el aumento de ~3% en la producción de potencia máxima observada previamente en atletas altamente entrenados luego de una intervención similar con intervalos cortos (Laursen, Shing, Peake, Coombes, y Jenkins, 2005). En contraste, se ha observado un mayor rendimiento en prueba contrarreloj en ausencia de un mayor MAP (Stepto et al., 1999). La variación en los resultados de MAP entre los estudios probablemente reflejan diferencias metodológicas en la longitud (10, 20 y 40 s vs. 30 s) y en el período de recuperación entre los esfuerzos porque las adaptaciones del HIT son específicas de la duración (Gibala et al., 2012). El aumento de mayor magnitud en MAP que observamos en nuestro estudio puede estar relacionado con el menor perfil fisiológico, y al mayor potencial para la mejora de nuestros participantes en este estudio (VO_{2max} $58,7 \pm 8,1$ mL kg^{-1} min^{-1}), en comparación con los atletas altamente entrenados (VO_{2max} $64,5 \pm 5,2$ mL kg^{-1} min^{-1}) que participaron en el estudio de Laursen y colegas (2005).

Las dos estrategias de HIT tuvieron una influencia positiva en la capacidad de carrera pero la diferencia fue sustancial sólo en el grupo LARGO. En los 14 participantes se observó una asociación positiva entre los tiempos de carrera más lentos observados al inicio del estudio (línea de base) y los mayores aumentos después de la intervención. Sin embargo, dado los similares tiempos de carrera pre-entrenamiento y SD para ambos grupos, la mejora sustancial que se observó sólo en el grupo LARGO puede ser atribuida a la intervención de entrenamiento. Un efecto de entrenamiento cruzado entre ciclismo y *running* permite que los triatletas obtengan capacidades fisiológicas (Hue, Galláis, Chollet, y Prefaut, 2000) frecuentemente comparables a las alcanzadas en los deportes individuales (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, y Koralsztein, 2001; Lucía, Joyos, & Chicharro, 2000) sin la duplicación concomitante de la carga de entrenamiento. En una misma HR, el rendimiento cardíaco es menor en ciclismo que en *running* debido a un menor volumen sistólico (Faulkner, Roberts, Elk y Conway, 1971). Por consiguiente, para que las adaptaciones centrales que se producen en respuesta al entrenamiento de ciclismo se transfieran a la carrera, la intensidad del ciclismo debe ser máxima como en el caso de nuestro estudio. Las adaptaciones centrales tales como un mayor VO_{2max} y un cambio metabólico de oxidación de carbohidratos a oxidación de grasas (Westgarth-Taylor et al., 1997) podrían explicar la transferencia de las mejoras en ciclismo inducidas por nuestras sesiones de HIT más largas hacia una mejor capacidad de carrera. Los efectos residuales del ciclismo previo son más altos durante el primer tramo (2,5 km) de la carrera (Heiden y Burnett, 2003). La mayor parte (67%) de la mejora después de la intervención con intervalos largos se produjo durante los primeros 2,5 km.

Las respuestas perceptuales y fisiológicas pequeñas a ligeramente bajas durante el protocolo de ciclismo de 1 hora de potencia variable probablemente están relacionadas a una mayor capacidad aeróbica máxima y consecuentemente a una menor intensidad relativa. La intensidad del ejercicio de ciclismo de 1-h utilizada en nuestro estudio es similar a lo informado en trabajos previos (63% MAP) durante una competencia de triatlón internacional (Bernard et al., 2009; Le Meur et al., 2009). El protocolo de ciclismo deporte-específico usado en nuestro estudio refleja las demandas soportadas a campo en los triatlones con esfuerzos supra máximos frecuentes e intermitentes (>MAP) y con una importante cantidad de tiempo (15%) transcurrido por encima de la intensidad MAP (Bernard et al., 2009). Manteniendo la misma producción de potencia absoluta después de la intervención de entrenamiento nosotros pudimos demostrar que las mejoras en la capacidad máxima y en la capacidad de realizar esprints pueden reducir el costo fisiológico de ciclismo en los triatlones. El ejercicio de ciclismo de 1-h con potencia variable que simulaba las exigencias de una competencia de triatlón permite que nuestros resultados sean aplicables a este deporte.

La producción de potencia sustancialmente más alta después de las sesiones de HIT podría dar una ventaja a un triatleta en aquellas secciones con ascensos o técnicas que exigen aumentos de potencia súbitos. Los esprints de corta duración son altamente dependientes de las vías anaeróbicas (fosfocreatina y glucolítica) para generar energía. Sin embargo, la contribución de energía aeróbica se incrementa mucho a medida que se incrementa la cantidad de esprints (Gaitanos, Williams, Boobis, y Brooks, 1993). El aumento en la capacidad aeróbica máxima probablemente influyó en la mejora en la capacidad de realizar esprints repetidos permitiendo que la fosfocreatina sea re-sintetizada entre los esprints repetidos (Harris et al., 1976). La mayor capacidad aeróbica también contribuye con la producción de energía en los esfuerzos máximos posteriores (Bogdanis, Nevill, Boobis y Lakomy, 1996). Es más, los intervalos de alta intensidad más largos aumentan la capacidad buffer intracelular en el músculo esquelético (Weston et al., 1997) y la remoción de lactato y de H^+ (Juel et al., 2004) lo que podría explicar la mejora en la capacidad de realizar esprints repetidos (Mohr et al., 2007). Los dos tipos de HIT, CORTO y LARGO, aumentaron la capacidad de esprint, pero diferentes adaptaciones fisiológicas podrían

haber provocado las mejoras observadas después de ambas intervenciones de entrenamiento. Los futuros estudios deberían investigar los mecanismos fisiológicos que permiten la transferencia de las mejoras del ciclismo hacia el *running* y deberían extender este trabajo al ciclo completo natación-ciclismo-carrera.

Implicaciones Prácticas

Las diferentes intervenciones de HIT son exitosas a la hora de producir adaptaciones de entrenamiento deseables debido a la combinación de trabajo de alta y baja intensidad. Los entrenadores, científicos del deporte y los triatletas moderadamente entrenados deben considerar los beneficios de un programa breve de HIT de ciclismo en la preparación para las competencias, con el fin de mejorar el rendimiento con un volumen mínimo de entrenamiento pero manteniendo la intensidad, un escenario ideal para la fase de puesta a punto pre-competición. Los triatletas que buscan mejoras en el ciclismo y en la carrera deben considerar intervalos de alta intensidad más largos para maximizar la adaptación al entrenamiento (los atletas que buscan mejorar solamente las adaptaciones al ciclismo deberían considerar entrenamiento con intervalos más cortos). Los triatletas que incorporan un programa de entrenamiento de ciclismo y *running* bien diseñado podrían beneficiarse de una salida más rápida en la sección de carrera subsiguiente debido a la menor fatiga acumulada durante la etapa de ciclismo.

Conclusiones

La aplicación de HIT permite obtener mejoras en el rendimiento específicas para ciclismo y *running*. En una situación de la competencia, las mejoras en la capacidad de realizar esprints repetidos se puede traducir en una mayor capacidad para ganar o mantener las posiciones durante los cambios de ritmo, secciones con ascensos o secciones técnicas de las últimas etapas de la sección de ciclismo cuando otros competidores podrían estar experimentando fatiga y podrían quedar atrás en el campo. Tan poco como seis sesiones de esfuerzos cortos y largos de HIT aumentan sustancialmente ciertas variables fisiológicas y de rendimiento del triatlón como la capacidad de realizar esprints repetidos y disminuyen las perturbaciones fisiológicas y el esfuerzo percibido durante la sesión de ciclismo de 1-h específica de triatlón en triatletas moderadamente entrenados. El entrenamiento con intervalos largos también mejora la capacidad de carrera de 5 km.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a todos los participantes por el tiempo y el esfuerzo que dedicaron al estudio.

REFERENCIAS

1. Bailey, D., Pearce, M., Etxebarria, N., & Ingham, S. (2007). Correlates of performance in triathlon [abstract]. *The 12th Annual Congress of the European College of Sports Science, Jyväskylä*.
2. Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E., & McNaughton, L. R. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: Implications for physiological analysis and performance [Research Support, Non-U. S. Gov't Review], *Sports Medicine, 32*, 345-359. doi:10.2165/00007256-200232060-00001
3. Bernard, T., Hausswirth, C, Le Meur, Y., Bignet, F., Dorel, S., & Brisswalter, J. (2009). Distribution of power output during the cycling stage of a Triathlon World Cup. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 41*, 1296-1302. doi:10.1249/MSS.0b013e318195a233
4. Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztejn, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners [Comparative Study]. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33*, 2089-2097. doi:10.1097/00005768-200112000-00018
5. Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P., & Koralsztejn, J. P. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs [Research Support, Non-U. S. Gov't], *European Journal of Applied Physiology, 81*, 188-196. doi:10.1007/s004210050029
6. Bogdanis, G C, Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology, 80*, 876-884.
7. Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobow-chuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans [Controlled Clinical Trial Research Support, Non-U. S. Gov't], *Journal of Applied Physiology, 586(1)*, 151-160. doi:10.1113/jphysiol.2007.142109
8. Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioural sciences. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum*.
9. Ebert, T. R., Martin, D. T., Stephens, B., & Withers, R. T. (2006). Power output during a professional men's road-cycling tour. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 1*, 324-335.
10. Etxebarria, N, Anson, J. M., Pyne, D. B., & Ferguson, R. A. (2013). Cycling attributes that enhance running performance after the

- cycle section in triathlon. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [Epub ahead of print, Jan 23].
11. Etxebarria, N, Hunt, E. A. J., Ingham, S. A., & Ferguson, R. A. (2013). Physiological assessment of isolated running does not directly replicate running capacity after triathlon-specific cycling. *Journal of Sports Sciences*. doi:10.1080/02640414.2013.819520
 12. Faulkner, J. A., Roberts, D. E., Elk, R L., & Conway, J. (1971). Cardiovascular responses to submaximum and maximum effort cycling and running. *Journal of Applied Physiology*, 30, 457-461.
 13. Gaitanos, G C, Williams, C, Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 712-719.
 14. Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease [Research Support, Non-U. S. Gov't Review], *The Journal of Physiology*, 590 (Pt 5), 1077-1084. doi:10.1113/jphysiol.2011.224725
 15. Harris, R. C, Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjo, L. O., Ny Lind, B., & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphocreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 367(2), 137-142. doi:10.1007/BF00585149
 16. Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 15, 325-333. doi: 10.1080/026404197367335
 17. Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(1), 79-83. doi:10.1007/BF014 66278
 18. Heiden, T., & Burnett, A. (2003). The effect of cycling on muscle activation in the running leg of an Olympic distance triathlon [Clinical Trial], *Sports Biomechanics*, 2(1), 35-49. doi:10.1080/ 14763140308522806
 19. Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1-15. doi:10.2165/00007256-200030010-00001
 20. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science [Review], *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
 21. Hue, O., Le Gallais, D., Chollet, D., & Prefaut, C. (2000). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes [Comparative Study]. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25, 102-113. doi:10.1139/h00-007
 22. Juel, C, Klarskov, C, Nielsen, J. J., Krstrup, P., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H+ release from human skeletal muscle [Research Support, Non-U. S. Gov't], *American Journal of Physiology*, 286, E245-251. doi:10.1152/ajpendo.00303.2003
 23. Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? [Review]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 (Suppl. 2), 1-10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
 24. Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research Association*, 19, 527-533. doi:10.1519/15964.1
 25. Le Meur, Y., Hausswirth, C, Dorel, S., Bignet, F., Brisswalter, J., & Bernard, T. (2009). Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition [Research Support, Non-U. S. Gov't], *European Journal of Applied Physiology*, 106, 535-545. doi:10.1007/s00421-009-1043-4
 26. Lindsay, F. H., Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Schomer, H. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1427-1434. doi:10.1097/00005768-199611000-00013
 27. Lucia, A., Joyos, H., & Chicharro, J. L. (2000). Physiological response to professional road cycling: Climbers vs. *time trialists* [Research Support, Non-U.S. Gov't], *International Journal of Sports Medicine*, 21, 505-512. doi:10.1055/s-2000-7420
 28. Mohr, M., Krstrup, P., Nielsen, J. J., Nybo, L., Rasmussen, M. K, Juel, C, & Bangsbo, J. (2007). Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development [Comparative Study Research Support, Non-U. S. Gov't], *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292, R1 594-1602. doi:10.1152/ajpregu.00251.2006
 29. Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Reliability and variability of running economy in elite distance runners [Clinical Trial Validation Studies], *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1972-1976. doi:10.1249/01.MSS.0000145468.17329.9F
 30. Stepto, N. K, Hawley, J. A., Dennis, S. C, & Hopkins, W. G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance [Clinical Trial Randomized Controlled Trial], *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 736-741. doi:10.1097/00005768-199905000-00018
 31. Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise [Comparative Study Review], *Sports Medicine*, 31(1), 1-11. doi:10.2165/00007256-200131010-00001
 32. Westgarth-Taylor, C, Hawley, J. A., Rickard, S., Myburgh, K. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 75, 298-304. doi:10.1007/s004210050164
 33. Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C, Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. [Research Support, Non-U.S. Gov't], *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(1), 7-13. doi:10.1007/S004210050119

Cita Original

Narora Etxebarria, Judith M. Anson, David B. Pyne & Richard A. Ferguson (2013): High-intensity cycle interval training improves cycling and running performance in triathletes. *European Journal of Sport Science*,

