

Article

Efectos de un Período de Carga de Entrenamiento de Alta Intensidad de 7 Días sobre el Rendimiento y la Fisiología de Ciclistas de Competición

Bradley Clark¹, Vitor P. Costa², Brendan J. O'Brien¹, Luiz G. Guglielmo² y Carl D. Paton³¹School of Health Science, Federation University, Ballarat, Victoria, Australia.²Physical Effort Laboratory, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil.³Faculty of Health and Sport Science, The Eastern Institute of Technology, Hawkes Bay, New Zealand.

RESUMEN

Objetivos: Los atletas de resistencia competitivos normalmente realizan períodos de entrenamiento con carga adicional en las semanas previas a las competencias. Esta investigación estudió los efectos de dos regímenes de entrenamiento de carga de alta intensidad (HIT) de siete días sobre el rendimiento y las características fisiológicas de ciclistas competitivos. **Diseño:** El estudio fue controlado con grupos pareados. **Métodos:** Veintiocho ciclistas de sexo masculino (Media± SD, Edad: 33±10 años, Peso 74±7 kg, VO₂máx 4,7± 0,5 L min⁻¹) fueron asignados a un grupo control o a uno de dos grupos de entrenamiento HIT durante siete días consecutivos. Antes y después del entrenamiento, los ciclistas realizaron un test de ejercicio incremental en una bicicleta ergométrica y una prueba contrarreloj de 20 km. Las sesiones de HIT tuvieron una duración de 120 minutos y consistieron en volúmenes equiparados de esfuerzos de máxima intensidad de 5, 10 y 20 segundos (HIT corto) o 15, 30 y 45 segundos (HIT largo). **Resultados:** Ambos regímenes de HIT, corto y largo, provocaron aumentos significativos ($p < 0,05$) en el rendimiento de pruebas contrarreloj en comparación con el grupo control. En relación al grupo control, los cambios medios (límites de confianza ±90%) en la potencia de la prueba contrarreloj fueron 8,2%± 3,8% y 10,4%± 4,3% para los regímenes de HIT corto y largo respectivamente; los aumentos correspondientes en la potencia máxima en el test incremental fueron 5,5%±2,7% y 9,5%±2,5%. Ambas intervenciones HIT (corto vs. largo) produjeron aumentos no significativos ($p > 0,05$) (Media± SD) en el VO₂max (2,3%±4,7% versus 3,5%±6,2%), potencia en el umbral de lactato (3,6%±3,5% contra 2,9%±5,3%) y eficiencia mecánica bruta (*gross efficiency*) (3,2%± 2,4% contra 5,1%± 3,9%) y sólo se observaron diferencias pequeñas entre los regímenes de HIT. **Conclusiones:** Siete días de entrenamiento con sobrecarga de HIT inducen mejoras sustanciales en el rendimiento de pruebas contrarreloj a pesar de producir aumentos no significativos en las medidas fisiológicas de ciclistas competitivos.

INTRODUCCION

Muchos atletas de resistencia periodizan el entrenamiento a lo largo de la temporada para prepararse para las

competiciones. La estructura del entrenamiento dentro de una etapa específica de una temporada a menudo varía, y puede incluir una combinación de técnicas de entrenamiento que se diseñan para mejorar la capacidad de rendimiento del atleta a través de aumentos en el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), el porcentaje sostenible de consumo de oxígeno máximo (a menudo erróneamente llamado umbral anaeróbico) o la economía/eficiencia aeróbica. Aunque el entrenamiento de baja intensidad y volumen alto desempeña un papel importante en la preparación de un atleta de resistencia existe cierta duda que las series de entrenamiento de alta intensidad (HIT) sean necesarias para reforzar la forma atlética y particularmente el VO_{2max} [1]. Además una práctica común observada entre los atletas competitivos es incluir períodos cortos de entrenamiento muy intenso (a menudo en forma de sobrecarga de HIT o competencias menores) inmediatamente antes de las competencias importantes con el fin de aumentar aún más el rendimiento en la competencia.

La estructura de las sesiones de HIT es variable pero generalmente involucra series repetidas cortas (<5 minutos) de ejercicio de intensidad máxima en la potencia de consumo oxígeno máximo del atleta o por encima de la misma [2]. En los últimos años se han publicado varios estudios que investigaron los efectos de diferentes regímenes de HIT específicos sobre el rendimiento y las características fisiológicas de un atleta. En un estudio preliminar Stepto et al., [3] realizaron un estudio con ciclistas altamente entrenados y evaluaron los efectos de seis sesiones (realizadas durante dos semanas) de diferentes variedades de programas de HIT sobre el rendimiento en pruebas contrarreloj de 40 km. Interesantemente este estudio informó que las mayores mejoras en el rendimiento de pruebas contrarreloj se produjeron gracias a dos programas de HIT bastante diferentes (30-s contra 240-s), lamentablemente este estudio no analizó los mecanismos fisiológicos involucrados en ninguna de las mejoras de rendimiento observadas de las sesiones de HIT. De manera similar en una serie de estudios relacionados al HIT realizados con ciclistas competitivos, Laursen y colegas [4-6] informaron mejoras significativas en el rendimiento de pruebas contrarreloj luego de 2-4 semanas de intervalos de intensidad máxima de diferente duración (>30-s). Las mejoras en el rendimiento, en esta serie de estudios, fueron asociadas con un aumento significativo en dos de los reconocidos determinantes del rendimiento de resistencia, a saber; el consumo de oxígeno máximo y la potencia en el umbral de lactato. También se ha demostrado que la combinación de HIT específico del deporte de corta duración (30-s) con entrenamiento explosivo no específico aumenta sustancialmente el tercer determinante fisiológico asociado con el rendimiento de resistencia, a saber, la economía aeróbica tanto en ciclistas [7] como en corredores [8].

Como es evidente que las diferentes formas y duraciones de HIT son una estrategia de entrenamiento efectiva [2], las investigaciones más recientes se han centrado en la organización y distribución de las sesiones de HIT dentro de un programa de entrenamiento periodizado. En un estudio que analizó los efectos de tres semanas (nueve sesiones) de HIT realizado en días consecutivos o no consecutivos, Gross et al. [9] observaron en ciclistas recreativos aumentos similares en el rendimiento y en las determinaciones fisiológicas luego de cualquiera de las dos estrategias. Además otros dos estudios recientes revelaron que el rendimiento puede aumentar si un bloque corto de entrenamiento intervalado concentrado es seguido por un período de tres semanas de entrenamiento intervalado menos frecuente [10, 11].

Independientemente de su configuración, a menudo el entrenamiento se organiza para inducir un estado temporario de overreaching funcional. Este es un estado de entrenamiento que produce una disminución en el rendimiento a corto plazo y que, cuando es seguido por un período adecuado de recuperación, provoca una supercompensación y una mejora en el rendimiento subsiguiente [12]. Para lograr un overreaching funcional los entrenadores y atletas incluyen períodos cortos de entrenamiento de alta intensidad, como un campamento de entrenamiento o una competencia de prioridad baja, en las semanas previas a una competencia importante. Investigaciones previas han establecido el potencial de un período muy corto de entrenamiento en bloques de alta intensidad, como el que se realiza durante un campamento de entrenamiento o carrera, para mejorar el rendimiento. Jeukendrup et al. [13], informaron mejoras significativas en el rendimiento después de que ciclistas competitivos tuvieran dos semanas de recuperación luego de un período de dos semanas de entrenamiento de alta intensidad. En un estudio similar en el cual se investigaron los efectos del sobre el overreaching inducido, Halson et al., [14] observaron que los períodos breves de entrenamiento muy intenso provocaron una disminución en el rendimiento que podía mantenerse durante un período de hasta dos semanas después del período de entrenamiento. Sin embargo, este estudio no incluyó ninguna medida de supervisión a largo plazo por lo que se desconoce si se produjo algún efecto de supercompensación luego del período de recuperación de dos semanas. Por consiguiente a partir de las observaciones y de investigaciones previas, parecería que aproximadamente siete días de entrenamiento de alta intensidad sería la duración óptima para mejorar el rendimiento sin causar fatiga excesiva a largo plazo. Por consiguiente, si bien parecería que las diferentes formas de HIT pueden conducir a un aumento sustancial en el rendimiento, es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar los efectos de períodos de bloques más cortos de entrenamiento de alta intensidad en la fisiología de ciclistas entrenados y la evolución en el tiempo de cualquier mejora en el rendimiento. Según nuestros conocimientos ningún trabajo anterior ha estudiado la magnitud de los aumentos en el rendimiento posibles luego de un típico período de entrenamiento de alta intensidad de siete días. Así, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos de dos programas diferentes de HIT durante siete días consecutivos que simulaban la intensidad de los esfuerzos observados en las competencias, sobre las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento de ciclistas competitivos y además estudiar la evolución en el tiempo de cualquier adaptación durante el período de recuperación post-entrenamiento.

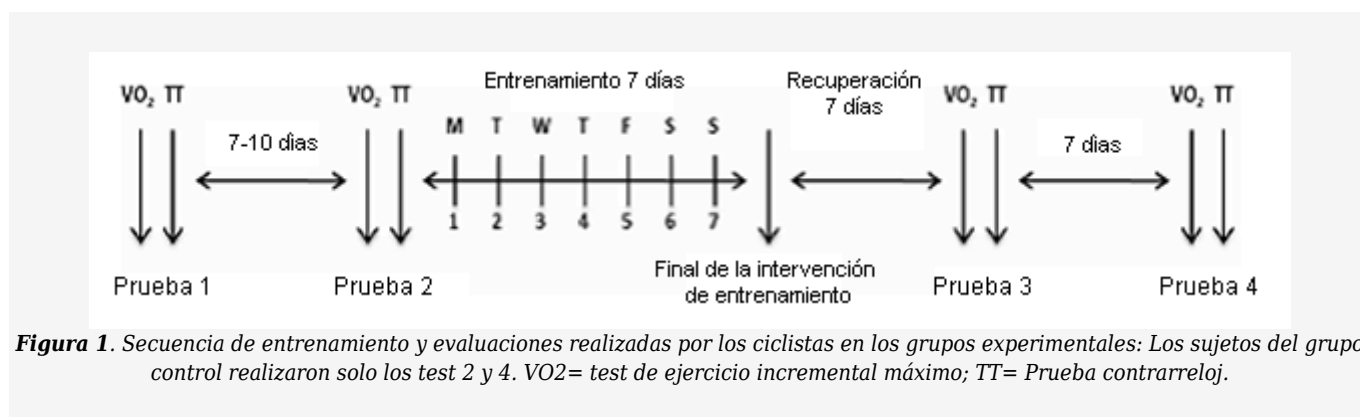
MÉTODOS

Sujetos

Treinta ciclistas competitivos de sexo masculino participaron voluntariamente en este estudio inicialmente. Dos ciclistas no completaron todas las sesiones debido a enfermedades no relacionadas con el estudio y por lo tanto fueron excluidos del último análisis, lo que hizo que finalmente completaran el estudio un total de 28 ciclistas (Media \pm SD, edad: 33 \pm 10 años, peso 74 \pm 7 kg, talla 178 \pm 5 centímetros, VO_{2máx} 4,7 \pm 0,5 L min⁻¹). Todos los ciclistas dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio que previamente fue aceptado por los comités de ética de investigaciones con seres humanos de las universidades que participaron en el estudio, en concordancia con lo establecido en la declaración de Helsinki. Los ciclistas estaban altamente entrenados con un mínimo de dos años de experiencia competitiva de nivel A o B (clasificación aficionados de Oceanía). El estudio se realizó en la temporada competitiva luego de un período de entrenamiento inicial y de pre-competición. Debido a la naturaleza del programa de competición de cada ciclista no fue posible controlar su entrenamiento individual previo al estudio. Sin embargo inmediatamente antes (2 semanas) de comenzar el estudio los ciclistas realizaron regímenes de entrenamiento establecidos por ellos mismos o por sus entrenadores que consistían en un mínimo de 10 horas (~300-km) de entrenamiento de intensidad mixta por semana. Al inicio de los estudios de laboratorio se solicitó a los ciclistas que estuvieran bien preparados y no estuvieran fatigados.

Procedimientos de Evaluación

Los ciclistas fueron equiparados lo mejor posible en función de la producción de potencia máxima y el consumo de oxígeno máximo (VO_{2máx}) determinados a partir del test incremental inicial y fueron asignados a una de tres condiciones; grupo control (n=9), grupo HIT con esprint corto (n=9) o grupo HIT con esprint largo (n=10). El grupo control realizó dos valoraciones fisiológicas y de rendimiento separadas por tres semanas durante las cuales continuaron con su entrenamiento normal prescrito (mínimo de 10 horas por semana). Los ciclistas en los grupos que realizaron entrenamiento completaron una serie de valoraciones fisiológicas y de rendimiento antes y después de completar un bloque de siete días de entrenamiento de alta intensidad. La secuencia de las evaluaciones y del entrenamiento en los grupos de sujetos se presenta en la Figura 1. Todas las evaluaciones fisiológicas y de rendimiento se realizaron en una bicicleta ergométrica *Velotron Dynafit Pro (RacerMate Inc, WA, EE.UU.)* utilizando el software de carrera 3D y entrenamiento provisto por la compañía. Antes de realizar las pruebas cada participante se ubicó en la bicicleta ergométrica en una posición similar a la que utilizaría en su propia bicicleta de carrera; las medidas de ajuste fueron registradas y fueron repetidas en cada sesión subsiguiente. Se solicitó a los participantes que en las 24 horas antes de cualquier sesión de evaluación se prepararan como si fuera una competencia, evitaran realizar actividad física activa y no consumieran ningún suplemento que pudiera alterar potencialmente el rendimiento (por ejemplo cafeína). Los participantes arribaron al laboratorio aproximadamente 30 minutos antes de cada prueba habiendo dormido un mínimo de siete horas y en un estado de buena alimentación e hidratación. Durante todas las pruebas los participantes fueron refrescados con ventiladores de pie de 30 cm y se fijó la temperatura ambiente del laboratorio en aprox.20 °C con una humedad relativa de aprox. 50-60%.



Test de Ejercicio Incremental

La valoración fisiológica consistió en la realización de un test de ejercicio incremental hasta el agotamiento volitivo a partir del cual se obtuvieron mediciones de producción de potencia máxima (PPO), VO_{2máx}, potencia en el umbral de lactato de 4

mmol/L (OBLA), economía aeróbica y eficiencia. Durante el test de ejercicio incremental los gases respiratorios fueron continuamente medidos mediante un dispositivo de medición de metabolismo (*Metalyser 3B, Cortex, Leipzig, Alemania*) calibrado siguiendo las instrucciones del fabricante con estándares gaseosos Alfa. Los ciclistas inicialmente comenzaron el ejercicio a 100 watts (W) aumentando después de esto 40 W cada cuatro minutos hasta alcanzar el agotamiento volitivo. Durante el test incremental la bicicleta ergométrica se fijó en modo isocinético para que la producción de potencia permaneciera constante independientemente de los cambios en la cadencia de pedaleo. Los ciclistas podían variar libremente la cadencia durante el test pero se les animó a que mantuvieran una cadencia de aprox. 90 revoluciones por minuto. Durante los 30 segundos finales de cada fase se tomaron muestras de sangre de 25 uL de la yema de los dedos de los participantes las cuales fueron analizadas inmediatamente para establecer la concentración de lactato en sangre completa mediante un sistema automatizado (*YSI 1500, Yellow Spring, OH, EE.UU.*) calibrado según las especificaciones del fabricante. La producción de potencia máxima en el test incremental se determinó como la etapa final completada más la proporción de cualquier etapa no completada que se hubieran alcanzado durante la prueba de esfuerzo progresiva según la metodología de Lucía et al. [15]. El consumo de oxígeno máximo se determinó como el valor de consumo oxígeno más alto registrado en 30 segundos durante la prueba. El comienzo de la acumulación de lactato en sangre (OBLA) se determinó como la producción de potencia en la que el lactato sanguíneo alcanzó una concentración de 4 mmol/L. La economía aeróbica se determinó en todos los sujetos como el consumo de oxígeno en una potencia fija de 220 W, dado que esta fue la intensidad más alta lograda por todos los sujetos en la cual el consumo de oxígeno se mantenía en estado estable y el cociente respiratorio era $<1,0$; de manera similar, la eficiencia bruta (GE) se determinó a partir de los datos respiratorios a 220 W siguiendo la metodología establecida por Horowitz et al., [16].

Prueba Contrarreloj

La prueba contrarreloj (TT) se realizó en un circuito simulado por computadora de 20 km utilizando la misma bicicleta ergométrica que se describió previamente. El circuito desarrollado estaba basado en la topografía de un circuito de carreras local y consistía en numerosos cambios en pendientes representadas por ascensos y descensos (Figura 2). Estudios de nuestro laboratorio (en prensa) revelaron un coeficiente de variación para esta prueba de -1% para tiempo y 2% para producción de potencia media. Los participantes podían observar su progreso en el circuito a través de un monitor de computadora y se les proporcionó información sobre la distancia recorrida y la velocidad seleccionada; toda otra información no fue revelada para evitar cualquier efecto potencial sobre el ritmo. Se solicitó a los participantes que completaran cada prueba contrarreloj tan rápidamente como pudieran sin restricción en la selección de la velocidad, cadencia o postura de ciclismo (sentados o parados). Los participantes no tuvieron ninguna restricción hacia una estrategia fija de ritmo y no fueron asesorados sobre como recorrer mejor el circuito. A lo largo de la prueba los participantes podían consumir agua *ad libitum*. El tiempo de rendimiento (Tiempo en TT) y la producción de potencia media (PO en TT) registrados en la prueba contrarreloj con pendiente variable fueron las principales mediciones de rendimiento de este estudio.

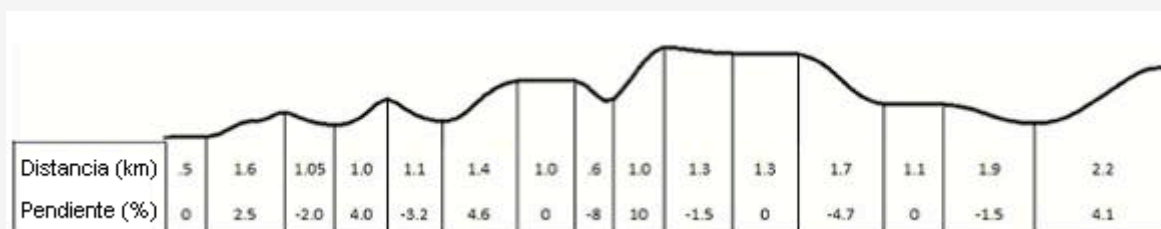


Figura 2. Circuito simulado por computadora con las distancias y el perfil de pendientes utilizados en la prueba contrarreloj de 20-km.

Intervenciones de Entrenamiento

Los ciclistas que integraron los dos grupos experimentales de entrenamiento realizaron siete días consecutivos de HIT. La composición de las sesiones de entrenamiento fue diseñada para reproducir la intensidad y la duración de los esfuerzos observados en las competencias reales y fue diagramada junto con dos entrenadores de élite que utilizaron datos de potencia recolectados durante las competencias de ciclistas competitivos y datos provenientes de análisis previos de rendimiento en competencias obtenidos por Ebert et al. [17]. Las sesiones de entrenamiento, consistieron en múltiples series de esprints a máxima velocidad realizados a un ritmo seleccionado por los mismos ciclistas y los períodos de recuperación correspondientes. La relación trabajo:descanso fue similar en ambos grupos y fue 1:5 (es decir a un esfuerzo de 10 s le correspondía un período de recuperación de 50 s) y el tiempo total de sesión fue aprox. 120 minutos incluyendo

un período de entrada en calor y de enfriamiento de 15 minutos. Los ciclistas del grupo HIT corto realizaron series de 25 repeticiones de esprints de 5, 10 y 20 segundos de duración (cada serie) completadas en secuencia durante un período de trabajo total de 14,6 minutos y con un período de recuperación correspondiente de 73 minutos. Los ciclistas en el grupo HIT largo completaron series de 10 repeticiones de esprints de 15, 30 y 45 segundos de duración durante un período de trabajo total de 15 minutos y con un período de recuperación correspondiente de 75 minutos. Se solicitó a los ciclistas de ambos grupos que completaran cada esfuerzo en la intensidad lo más alta posible y que en los períodos de recuperación mantuvieran una tasa de trabajo de ~30-40% PPO. Todas las sesiones de entrenamiento fueron controladas mediante señales de audio grabadas previamente que indicaban la duración del ejercicio y de los períodos de recuperación. Los ciclistas completaron la primera, cuarta y séptima sesión de entrenamiento bajo la supervisión de uno de los investigadores utilizando la bicicleta ergométrica de laboratorio previamente descrita para asegurar el cumplimiento del entrenamiento. Las sesiones restantes se realizaron en las bicicletas de los ciclistas en ruta o en una bicicleta ergométrica fija. En el período de recuperación luego de la intervención de entrenamiento los ciclistas pudieron reanudar el entrenamiento de recuperación de intensidad liviana (<120 mins) pero debieron abstenerse de realizar inmediatamente ejercicio de alta intensidad o participar competencias en los 7 días posteriores al HIT. El grupo control continuó con su propio programa de entrenamiento personal durante un mínimo de 10 horas por semana para asegurar que el volumen total de entrenamiento era similar al de los grupos experimentales.

Análisis Estadísticos

Los estadísticos descriptivos simples se presentan en forma de media \pm desviación estándar entre sujetos. Los datos del estudio fueron analizados utilizando metodologías de inferencia basadas tanto en la significancia como en la magnitud. Los análisis basados en la significancia fueron realizados con el software estadístico SPSS, versión 2.0 para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL) con un valor de alfa fijado en 0,05. Inicialmente se realizó un análisis de la varianza de una vía (ANOVA) de los valores obtenidos antes del entrenamiento (Pre) para determinar si existía alguna diferencia significativa entre los grupos en las variables dependientes. Luego se realizó un ANOVA de medidas repetidas (factor: grupo de entrenamiento) para comparar los cambios a lo largo del tiempo entre los grupos (valores obtenidos antes del entrenamiento (pre) vs valor obtenido a las 2 semanas después del entrenamiento (post)). Para determinar en donde se producían diferencias entre los grupos se realizaron comparaciones pareadas (Bonferonni corregido) por medio de un ANOVA utilizando las mediciones dependientes pre y post para cada variable. En la metodología basada en la magnitud se estimaron los efectos medios del entrenamiento y sus límites de confianza de 90% mediante una hoja de cálculo realizada para tal fin [18] que utiliza el test *t* para varianzas desiguales para realizar comparaciones entre los grupos. Se realizaron comparaciones entre los grupos de los cambios de puntuaciones en los valores medios de los dos pre-test y cada uno de los dos post-test en los dos grupos de entrenamiento y entre los valores pre y post test del grupo control. El cambio en la puntuación entre las pruebas de cada sujeto se expresó en forma de porcentaje de la puntuación inicial mediante un análisis de los valores transformados con la función logaritmo. Los datos fueron transformados mediante *log* para reducir el sesgo que surge de cualquier falta de uniformidad en el error en los datos. La hoja de cálculo también calcula las chances de que los verdaderos efectos sean sustanciales, cuando se ingresa un valor de mínimo cambio digno de consideración. Utilizamos un valor de 1% para las medidas de potencia de rendimiento porque investigaciones previas demostraron que este valor representa el menor aumento digno de consideración en la potencia de ciclistas que compiten en eventos de pruebas contrarreloj [19]. Hasta la fecha ninguna investigación ha establecido cómo los cambios porcentuales en las medidas fisiológicas se traducen directamente a cambios porcentuales en el rendimiento de ciclismo, por consiguiente nosotros interpretamos los cambios en nuestras medidas fisiológicas utilizando efectos estandarizados por defecto (el cambio en la media dividido por la desviación estándar entre sujetos). Las magnitudes de los efectos estandarizados para las medidas fisiológicas solo fueron interpretadas e informadas utilizando umbrales de efectos establecidos de: 0,2, 0,5 y 0,8 para efectos pequeños, moderados y grandes respectivamente de acuerdo con las recomendaciones de Cohen [20]. Los valores de tamaño de Efecto <0,2 fueron considerados diferencias triviales y fueron considerados no significativos.

RESULTADOS

Los dos grupos completaron exitosamente el 100% del régimen de entrenamiento HIT prescrito durante el período de 7 días.

No se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los grupos de entrenamiento en ninguna de las mediciones efectuadas antes de la intervención (Pre). Se observaron diferencias significativas a lo largo del tiempo en PPO, OBLA, PO en TT y tiempo en TT entre los grupos de entrenamiento ($p<0,001$, $p=0,013$, $p<0,001$ y $p<0,001$ respectivamente). Las comparaciones pareadas de PPO, OBLA, PO en TT y tiempo en TT revelaron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo HIT corto ($p=0,001$, $p=0,024$, $p=0,006$ y $p=0,06$ respectivamente) y entre el grupo control y el grupo HIT largo ($p<0,007$, $p=0,034$, $p<0,001$ y $p<0,001$ respectivamente). Con excepción de PPO ($p=0,013$) no se observaron

diferencias significativas entre los grupos HIT corto y largo.

La Tabla 1 presenta los resultados de media \pm SD de las mediciones de rendimiento y fisiológicas para cada uno de los grupos al inicio (Pre) y luego del período de entrenamiento (Post). El grupo control experimentó disminuciones triviales a pequeñas ($ES=0,15-0,23$) en las variables de rendimiento durante el período supervisando mientras que ambos grupos de intervención de entrenamiento informaron mejoras moderadas ($ES = 0,51-0,76$) en el rendimiento luego de las intervenciones de HIT. Además, los dos grupos de HIT presentaron aumentos pequeños ($ES = 0,24-0,47$) en VO_{2max} y en la producción de potencia en OBLA y mejoras moderadas a grandes ($ES = 0,64-1,02$) en la economía aeróbica y eficiencia bruta, pero los controles experimentales experimentaron disminuciones triviales a pequeñas ($ES = 0,05-0,34$) en la mayoría de las mediciones fisiológicas (en línea con la disminución de rendimiento) excepto en la economía aeróbica y la eficiencia bruta.

	Control Pre	Control Post	% de cambio (ES)	HIT corto Pre	HIT corto Post	% de cambio (ES)	HIT largo Pre	HIT largo Post	% de cambio (ES)
PO en TT (W)	286 \pm 38	277 \pm 39	-3,3 \pm 4,2 (0,23)	279 \pm 24	291 \pm 19	4,6 \pm 4,4 (0,51)	277 \pm 26	296 \pm 25	6,8 \pm 5,8 (0,63)
Tiempo en TT (s)	2290 \pm 205	2338 \pm 213	1,8 \pm 2,2 (0,18)	2299 \pm 104	2232 \pm 84	-2,9 \pm 2,6 (0,59)	2320 \pm 135	2216 \pm 103	-4,4 \pm 3,7 (0,74)
PPO (W)	345 \pm 36	339 \pm 37	-1,7 \pm 3,3 (0,15)	341 \pm 21	353 \pm 19	3,6 \pm 3,0 (0,57)	337 \pm 27	362 \pm 28	7,6 \pm 2,3 (0,76)
VO_{2max} (L Min^{-1})	4,6 \pm 0,5	4,6 \pm 0,5	-0,6 \pm 6,3 (0,05)	4,6 \pm 0,3	4,7 \pm 0,4	2,3 \pm 4,8 (0,27)	4,7 \pm 0,4	4,9 \pm 0,5	3,5 \pm 6,2 (0,34)
OBLA (W)	292 \pm 34	282 \pm 37	-3,6 \pm 6,4 (0,27)	266 \pm 21	276 \pm 28	3,6 \pm 3,5 (0,47)	298 \pm 34	306 \pm 34	2,9 \pm 5,3 (0,24)
ECO (W $L^{-1} min^{-1}$)	72,5 \pm 4,0	74,1 \pm 4,3	2,2 \pm 4,3 (0,34)	71,3 \pm 4,5	74,0 \pm 3,6	3,9 \pm 2,8 (0,64)	71,9 \pm 3,3	75,3 \pm 3,9	4,6 \pm 3,5 (0,84)
GE (%)	21,1 \pm 1,2	21,4 \pm 1,3	1,5 \pm 4,3 (0,22)	20,7 \pm 1,2	21,3 \pm 1,0	3,2 \pm 2,4 (0,53)	20,8 \pm 0,9	21,8 \pm 1,1	5,1 \pm 3,9 (1,02)

Tabla 1. Valores medios \pm SD de todas las variables determinadas y del porcentaje de cambio entre las mediciones Pre y Post para cada grupo experimental, y tamaño de efecto del porcentaje de cambio observado. (ES)= Tamaño del efecto; PO en TT= Producción de potencia media en la prueba contrarreloj; Tiempo en TT= Tiempo de rendimiento en la prueba contrarreloj; PPO= Producción de potencia máxima; VO_{2max} = Consumo de oxígeno máximo; OBLA= Comienzo de la acumulación de lactato en sangre; ECO= Economía del ejercicio; GE= Eficiencia bruta.

La Tabla 2 presenta las puntuaciones de cambio relativas (en forma de porcentaje) para todas las variables determinadas entre los tres grupos. Se observaron aumentos moderados a grandes ($ES =0,57-0,89$) en las mediciones de rendimiento de ambos grupos de entrenamiento HIT en relación al grupo control; pero la magnitud de los cambios en las mediciones de rendimiento entre las dos condiciones de entrenamiento fueron todas consideradas pequeñas ($ES <0,50$). Las diferencias en las puntuaciones de cambio para VO_{2max} , potencia en el umbral del lactato y economía aeróbica entre los dos grupos de entrenamiento fue trivial, aunque el grupo HIT largo experimentó un aumento pequeño ($ES =0,34$) en la eficiencia bruta en relación al grupo HIT corto.

	HIT largo-Control % de diferencia $\pm 90\%$ LC [†] (ES)	HIT corto-Control % de diferencia $\pm 90\%$ LC (ES)	HIT corto-HIT largo % de diferencia $\pm 90\%$ LC (ES)
PO en TT (W)	10,4 \pm 4,3 (0,82)*	8,2 \pm 3,8 (0,67) #	-2,1 \pm 3,9 (-0,22)
Tiempo en TT (s)	-6,1 \pm 2,2 (-0,80)#	-4,6 \pm 1,9 (-0,62) #	1,6 + 2,6(0,28)
PPO (W)	9,5 \pm 2,5 (0,89) #	5,5 \pm 2,7 (0,57) #	-3,7 \pm 2,1 (-0,48)*
VO _{2max} (L min ⁻¹)	4,2 \pm 5,1 (0,37)	2,9 \pm 4,6 (0,27)	-1,2 \pm 4,2 (-0,15)
OBLA (W)	6,8 \pm 4,9 (0,53)*	7,5 \pm 4,5 (0,60)*	0,7 \pm 3,5 (0,05)
ECO (W L ⁻¹ min ⁻¹)	2,3 \pm 3,2 (0,43)	1,7 \pm 3,0 (0,26)	-0,6 \pm 2,4 (-0,11)
GE (%)	3,6 \pm 3,3 (0,65)	1,7 \pm 2,9 (0,26)	-1,9 \pm 2,5 (-0,34)

Tabla 2. Comparaciones pareadas de los cambios en el rendimiento y en las mediciones fisiológicas entre todos los grupos experimentales del estudio. † Límites de confianza $\pm 90\%$: sumar o restar este valor al efecto medio para obtener los límites de confianza de 90% para la verdadera diferencia. (ES) = Tamaño del efecto; PO en TT= Producción de potencia media en la prueba contrarreloj; Tiempo en TT= Tiempo de rendimiento en la prueba contrarreloj; PPO= Producción de potencia máxima; VO_{2max}= Consumo de oxígeno máximo; OBLA= Comienzo de la acumulación de lactato en sangre; ECO= Economía del ejercicio; GE= Eficiencia bruta.* presentan diferencias significativas con $p < 0,05$. # presentan diferencias significativas con $p < 0,01$.

En la Figura 3 se presentan los cambios porcentuales medios (límite de confianza $\pm 90\%$) en el rendimiento y las mediciones fisiológicas (en relación a los valores obtenidos al inicio del estudio) tanto a una semana como a dos semanas de haber finalizado el entrenamiento. Aunque ambos grupos de entrenamiento experimentales presentaron aumentos sustanciales en el rendimiento en las pruebas realizadas al final del período post-entrenamiento (14 días) en relación con el grupo control, el grupo de HIT corto experimentó una mejora atrasada real en su tiempo de rendimiento y potencia en prueba contrarreloj en el primer test post entrenamiento (7 días) en comparación con el grupo que realizó el entrenamiento HIT largo.

Los datos de rendimiento bruto y los datos fisiológicos de este estudio pueden ser observados en la información de soporte que se provee: Ver datos SI.

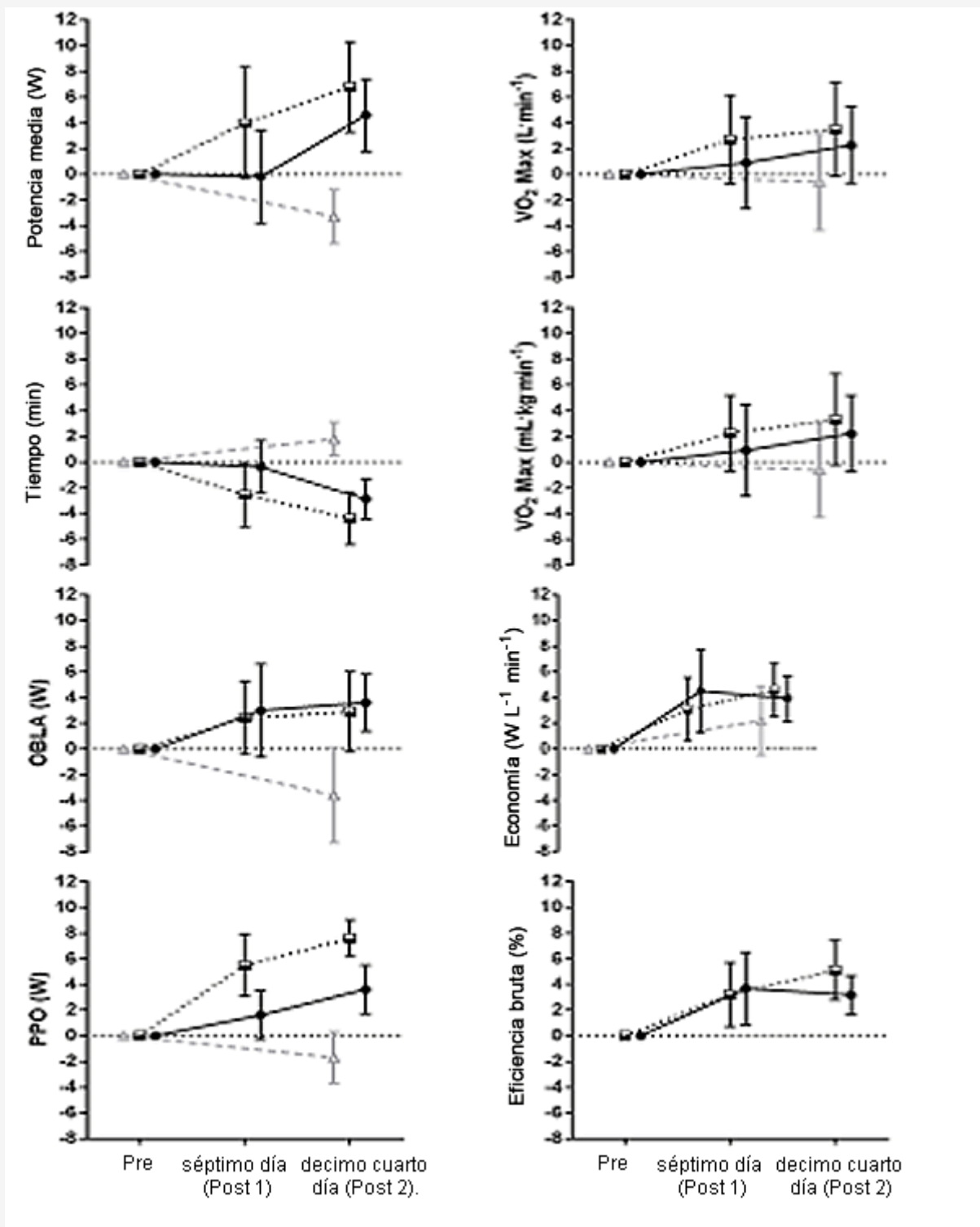


Figura 3. Cambio porcentual medio (\pm LC de 90%) en las mediciones de rendimiento y en las mediciones fisiológicas al inicio (Pre), luego de 7 días de entrenamiento HIT (Post 1) y luego de 14 días de entrenamiento HIT (Post 2).

DISCUSION

El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos de 7 días de dos regímenes de HIT pre competición sobre las características fisiológicas y de rendimiento de ciclistas competitivos. Los resultados de este estudio demuestran que las múltiples series de esfuerzos máximos de corta o larga duración realizadas en días consecutivos conducen a mejoras

sustanciales en el rendimiento de pruebas contrarreloj de 20 km en ciclistas competitivos. Además aunque no fue significativo, los dos regímenes de HIT analizados produjeron aumentos en determinantes fisiológicos importantes asociados con el rendimiento de resistencia.

Diferentes autores han informado aumentos sustanciales en el rendimiento luego de HIT en ciclistas entrenados [3-7,21-24]. En estos estudios el HIT se asoció con mejoras en las principales variables fisiológicas asociadas con el rendimiento de resistencia, a saber, VO₂max [4, 6, 21, 24, 25], potencia en el umbral anaeróbico [6, 24], economía aeróbica [7] y eficiencia bruta [26]. Sin embargo en todas estas investigaciones previas, el HIT fue implementado durante varias semanas a meses y típicamente en regímenes que incluían simplemente 2-3 sesiones de entrenamiento intervalado por semana. En comparación, los ciclistas del estudio actual experimentaron ganancias similares a las obtenidas en estudios anteriores después de realizar sólo siete días consecutivos de sesiones de HIT. Por consiguiente los resultados del estudio actual dan un apoyo empírico a nuestras observaciones que los atletas de competición normalmente usan bloques cortos de entrenamiento de alta intensidad para mejorar la forma antes de las competencias importantes.

Aumentos rápidos y sustanciales similares en el rendimiento y en la fisiología han sido observados previamente en esquiadores alpinos que realizaron 15 sesiones de HIT durante 11 días [27]. Sin embargo una diferencia importante entre el estudio actual y el de Breil et al., [27] es que el último estudio fue realizado con individuos que no tenían entrenamiento de resistencia (esquiadores alpinos) y en atletas fuera de la temporada, momento en el cual hay un margen mucho mayor para las mejoras debido al menor nivel de aptitud física. Nosotros también creemos que la evidencia adicional sobre la eficacia de bloques cortos de HIT proviene de un estudio más reciente realizado por Ronnestad et al., [11]. Si bien este estudio previo realmente observó cambios durante un período de entrenamiento más largo que el estudio actual, los autores incluyeron un entrenamiento en bloque de alta intensidad inicial de 5 días al principio de su período de entrenamiento de 4 semanas. Aunque carece de evaluaciones específicas de rendimiento luego del bloque inicial de HIT, los datos de entrenamiento presentados en el trabajo de investigación de estos autores parecen indicar aumentos significativos en la producción de potencia del entrenamiento en las tres semanas posteriores a los 5 días de entrenamiento. Por consiguiente nosotros esperaríamos que estos aumentos en la potencia de entrenamiento se manifestaran además en mejoras en los tests de rendimiento.

Aunque ambos programas de HIT, corto y largo, en el estudio actual produjeron mejoras de rendimiento sustanciales en relación al grupo control, la magnitud del cambio en las mediciones de rendimiento entre los dos programas HIT dos semanas después del entrenamiento fue cualitativamente pequeña (ES aprox. 0,2). De manera similar las diferencias en los cambios en las mediciones fisiológicas entre los dos regímenes de HIT fueron triviales (ES <0,2) a excepción de la eficiencia bruta (ES =0,34) que presentó una tendencia hacia un mayor aumento en el grupo de HIT largo. Aunque la magnitud de la diferencia en el rendimiento entre las dos estrategias de HIT fue pequeña, esta diferencia puede ser bastante importante para proporcionar una ventaja de consideración durante una competencia real [19]. Sin embargo aunque nosotros sugerimos tentativamente que existieron mejoras potencialmente mayores en el grupo que realizó la forma más larga de HIT, para verificar esta sugerencia es necesario un estudio con un tamaño de muestra mucho mayor y que tenga límites de confianza más claros.

Un apoyo adicional para nuestra opinión de la superioridad de la forma larga de HIT como régimen de entrenamiento preferido proviene de las diferencias en el índice de recuperación del rendimiento post entrenamiento entre los dos regímenes de HIT. Durante la primera evaluación post entrenamiento, los sujetos en el HIT corto no presentaron mejoras en el rendimiento de prueba contrarreloj en relación a su valor obtenido pre entrenamiento (Figura 1) a pesar de las pequeñas mejoras en las medidas de rendimiento durante la prueba incremental de corta duración. Interpretamos que este hallazgo indica que el grupo que realizó HIT corto manifestó una fatiga residual y una recuperación insuficiente para obtener cualquier beneficio del régimen de entrenamiento en esta etapa. De hecho, una investigación previa que analizó los efectos del overreaching en ciclistas, informó disminuciones en el rendimiento similares una semana después de una intervención de HIT [13, 14]. Una posible explicación para la diferencia en el rendimiento entre los dos grupos en esta etapa podría estar relacionada con las diferencias en la intensidad de los esfuerzos en las sesiones de entrenamiento. Aunque ambos grupos fueron nivelados cuidadosamente en cuanto a la duración total (volumen) del ejercicio y de la recuperación, es posible que la intensidad global de los sprints más cortos fuera algo más alta que la de los esfuerzos más largos y por consiguiente el grupo HIT corto probablemente habría experimentado una mayor fatiga acumulada. De hecho evaluaciones de estudio de casos (observaciones no publicadas) realizadas después del estudio principal revelaron que la potencia media en los intervalos cortos fue aprox.10% más alta que en los intervalos largos para la misma duración total de esfuerzo. Sin embargo no podemos excluir la posibilidad que la mejora atrasada en el grupo HIT corto se deba simplemente a diferencias individuales en los grupos y a variación en el muestreo.

Las contribuciones de los mediadores fisiológicos que sustentaron la mejora en el rendimiento de prueba contrarreloj en ambos los grupos de HIT no se conocen. Si bien las dos formas de HIT mejoraron todas las características fisiológicas medidas, el rango de respuestas individuales dificulta la determinación precisa de la contribución de cualquier mecanismo aislado. No obstante un análisis observacional de las mejoras en los grupos nos permite sugerir que las mejoras en el

grupo HIT largo probablemente estén asociadas con los aumentos en la economía aeróbica (4,6%) y la eficiencia bruta (5,1%) de los ciclistas mientras que la mejora en el grupo HIT corto parecería estar asociada con un aumento en la potencia en el umbral del lactato (OBLA) (3,6%). Además es posible que otro mecanismo no determinado contribuyera con las mejoras en el rendimiento. De hecho, dado que las intervenciones de HIT en el estudio actual involucraban esprints máximos repetidos, sería esperable un aumento en la capacidad anaeróbica y en la capacidad buffer del músculo tal como se ha informado en estudios previos que analizaron los efectos de HIT en el rendimiento de pruebas contrarreloj [6, 22]. Sin embargo se necesitan investigaciones adicionales que contemplen un tamaño de muestra mayor y efectúen mediciones adicionales relacionadas con las adaptaciones bioquímicas [28] y la biogénesis mitocondrial [29] para establecer los potenciales mecanismos moleculares responsables de cualquier mejora en el rendimiento.

En conclusión una semana de entrenamiento de alta intensidad a ritmo auto seleccionado, realizado en forma de múltiples series de esfuerzos de corta (5-20 s) o larga (15-45 s) duración provocó mejoras sustanciales en el rendimiento de pruebas contrarreloj de ciclistas competitivos. Los aumentos en el rendimiento estuvieron asociados con mejoras en los tres mediadores principales de rendimiento de resistencia; $VO_{2máx}$, producción de potencia en el umbral del lactato y economía aeróbica. Aunque las sesiones de HIT cortas o largas provocaron aumentos sustanciales en el rendimiento en comparación con el grupo control, las diferencias entre los dos grupos de entrenamiento fueron generalmente pequeñas. Sin embargo, aunque ambos programas de intervalos cortos y largos fueron cuidadosamente emparejados en cuanto a la duración total del ejercicio y de la recuperación parecería que los intervalos más cortos provocaron mayores disminuciones a corto plazo en el rendimiento de pruebas contrarreloj y necesitaron un período de recuperación post-entrenamiento más largo para que se manifieste cualquier beneficio. Desde una perspectiva práctica nosotros recomendaríamos a los atletas que planean emprender períodos de entrenamiento en bloque de alta intensidad, antes de las competencias que opten por una combinación de intervalos más largos o permitan una mayor recuperación antes de las competencias si utilizan intervalos de mayor intensidad mas cortos durante su período de entrenamiento en bloque. Los resultados de este estudio están por supuesto limitados al entrenamiento de ciclistas competitivos, pero pueden ser aplicables a deportes aeróbicos similares que no tengan traslado de masa (por ejemplo natación y remo). Sin embargo aconsejamos tener precaución si se desea aplicar una rutina de entrenamiento tan intensa a deportes como el *running*, porque el mayor impacto puede conducir a un mayor riesgo de lesión y a una disminución de largo plazo en el rendimiento. Se necesitan más estudios con otros deportes para establecer si estos períodos cortos de entrenamiento de alta intensidad son beneficiosos para el rendimiento. También se necesitan estudios que evalúen más detalladamente los mecanismos fisiológicos que producen las mejoras en el rendimiento luego del entrenamiento de alta intensidad y que permitan establecer la evolución en el tiempo a través de la cual cualquier beneficio de rendimiento se retiene o se pierde.

Información Adicional

Datos SI. Datos brutos de los test de rendimiento y de las pruebas fisiológicas del grupo control y de los grupos de entrenamiento intervalado corto y largo en doi:10,1371/journal.pone.0115308.s001 (PDF)

Contacto con el Autor

cpaton@eit.ac.nz

Contribuciones de los Autores

Planteo y diseño de las pruebas: CDP BC EL VPC BJO LGG. Realización de las pruebas: CDP BC VPC. Análisis de los datos: CDP BC EL VPC BJO LGG. Aporte de reactivos/materiales/análisis: CDP BC EL VPC BJO LGG. Redacción del paper: CDP BC EL VPC BJO LGG.

REFERENCIAS

1. Seiler K.S., Kjerland G.O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16: 49-56.
2. Paton C.D., Hopkins W.G (2004). Effects of high-intensity training on performance and physiology of endurance athletes. *Sportscience* 8: 25-40.
3. Stepto N.K., Hawley J.A., Dennis S.C., Hopkins W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 31: 736-741.
4. Laursen P.B., Blanchard M.A., Jenkins D.G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Can J Appl Physiol* 27: 336-348.
5. Laursen P.B., Shing C.M., Peake J.M., Coombes J.S., Jenkins D.G. (2002). Interval training program optimization in highly trained

- endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1801-1807.
6. 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. *J Strength Cond Res* 19: 527-533.
 7. Paton C.D., Hopkins W.G. (2005). Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. *J Strength Cond Res* 19: 826-830.
 8. Hamilton R.J., Paton C.D., Hopkins W.G. (2006). Effect of high-intensity resistance training on performance of competitive distance runners. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 40-49.
 9. Gross M., Swensen T., King D. (2007). Nonconsecutive- versus consecutive-day high-intensity interval training in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1666-1671.
 10. Ronnestad B.R., Ellefsen S., Nygaard H., Zacharoff E.E., Vikmoen O., et al. (2012). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports*.
 11. Ronnestad B.R., Hansen J., Ellefsen S. (2014). Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 24: 34-42.
 12. Meeusen R., Duelos M., Gleeson M., Rietjens G., Steinacker J., et al. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *European Journal of Sport Science* 6: 1-14.
 13. Jeukendrup A.E., Hesselink M.K., Snyder A.C., Kuipers H., Keizer H.A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int J Sports Med* 13: 534-541.
 14. Halson S.L., Bridge M.W., Meeusen R., Busschaert B., Gleeson M., et al. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol* 93: 947-956.
 15. Lucia A., Hoyos J., Pérez M., Santalla A., Earnest C.P., et al. (2004). Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France? *British Journal of Sports Medicine* 38: 636-640.
 16. Horowitz J.F., Sidossis L.S., Coyle E.F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *Int J Sports Med* 15: 152-157.
 17. Ebert T.R., Martin D.T., Stephens B., Withers R.T. (2006). Power output during a professional men's road-cycling tour. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 324-335.
 18. Hopkins W.G. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials with adjustment for a predictor. *Sportscience* 10: 46-50.
 19. Paton C.D., Hopkins W.G. (2006). Variation in performance of elite cyclists from race to race. *Eur J Sport Sci* 6: 25-31.
 20. Cohen J. (1986). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* New Jersey: Lawrence Erlbaum.
 21. Lindsay F.H., Hawley J.A., Myburgh K.H., Schomer H.H., Noakes T.D., et al. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1427-1434.
 22. Weston A.R., Myburgh K.H., Lindsay F.H., Dennis S.C., Noakes T.D., et al. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 7-13.
 23. Westgarth-Taylor C., Hawley J.A., Rickard S., Myburgh K.H., Noakes T.D., et al. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 298-304.
 24. Seiler S., Joranson K., Olesen B.V., Hetlelid K.J. (2013). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports* 23: 74-83.
 25. Creer A.R., Ricard M.D., Conlee R.K., Hoyt G.L., Parcell A.C. (2004). Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med* 25: 92-98.
 26. Hopker J., Coleman D., Passfield L., Wiles J. (2010). The effect of training volume and intensity on competitive cyclists' efficiency. *Appl Physiol Nutr Metab* 35: 17-22.
 27. Breil F.A., Weber S.N., Koller S., Hoppeler H., Vogt M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on V02 max and performance. *Eur J Appl Physiol* 109: 1077-1086.
 28. Ross A., Leveritt M. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med* 31: 1063-1082.
 29. Laursen P.B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 20 Suppl 2: 1-10.

Cita Original

Clark B., Costa V.P., O'Brien B.J., Guglielmo L.G., Paton C.D. (2014). Effects of a Seven Day Overload-Period of High-Intensity Training on Performance and Physiology of Competitive Cyclists. *PLoS ONE* 9(12): e115308. doi:10.1371/journal.pone.0115308.