

Article

Efectos del Entrenamiento con Cadencias Bajas y Altas Sobre la Producción de Potencia en Pruebas Contrarreloj Realizadas en Ascenso y en Llano

Alfred Nimmerichter, Roger Eston Norbert Bachl y Craig A Williams

College of Life and Environmental Sciences, Sport and Health Sciences, University of Exeter, Heavitree Road, Exeter EX1 2LU, Reino Unido

RESUMEN

Este estudio analizó los efectos del entrenamiento intervalado de baja cadencia (60 rev min⁻¹) realizado en ascenso (Int₆₀) o de alta cadencia (100 rev min⁻¹) en superficies llanas (Int₁₀₀) sobre la producción de potencia (PO) durante pruebas contrarreloj de 20-min en ascenso (TT_{up}) y en el llano (TT_{flat}). Dieciocho ciclistas de sexo masculino (VO_{2max}: 58,6±5,4 mL min⁻¹ kg⁻¹) fueron asignados al azar a los grupos Int₆₀, Int₁₀₀ o a un grupo control (Con). El entrenamiento intervalado se realizó en dos sesiones de entrenamiento por semana durante 4 semanas y consistió en seis series de 5 min a una producción de potencia (PO) que correspondía al punto de compensación respiratoria (RCP). El grupo control no realizó ningún entrenamiento intervalado. Un ANOVA de dos factores reveló aumentos significativos en los parámetros de rendimiento obtenidos por medio de una prueba de esfuerzo progresiva realizada en laboratorio (GXT) (P_{max}: 2,8±3,0%; p<0,01; PO y VO₂ en RCP: 3,6±6,3% y 4,7±8,2%, respectivamente; p<0,05; y VO₂ en el umbral ventilatorio: 4,9±5,6%; p<0,01), y no se observaron efectos significativos en el grupo. Se observaron interacciones significativas entre el grupo y la prueba contrarreloj en ascenso y en el llano, y en la PO obtenida pre y post entrenamiento (p<0,05). El grupo Int₆₀ presentó un aumento en la producción de potencia (PO) durante TT_{up} (4,4±5,3%) y TT_{flat} (1,5±4,5%). Los cambios fueron -1,3±3,6, 2,6±6,0% para Int₁₀₀ y 4,0±4,6%, y -3,5±5,4% para Con durante TT_{up} y TT_{flat}, respectivamente. El valor de PO fue significativamente más alto en TT_{up} que durante TT_{flat} (4,4±6,0; 6,3±5,6%; pre y post entrenamiento, respectivamente; p<0,001). Estos resultados sugieren que las fuerzas más altas durante los intervalos de baja cadencia fueron potencialmente beneficiosas para mejorar el rendimiento. En contraste con la prueba de esfuerzo progresiva (GXT), las pruebas contrarreloj son ecológicamente válidas para descubrir las adaptaciones específicas de rendimiento. **Palabras clave:** Validez ecológica, adaptaciones al entrenamiento, prueba de campo, ciclismo *outdoor*, cadencia, SRM.

Palabras Clave: Validez ecológica, adaptaciones al entrenamiento, prueba de campo, ciclismo *outdoor*, cadencia, SRM.

INTRODUCCION

El término “entrenamiento intervalado” puede ser descripto como aquel entrenamiento en el cual se realizan series repetidas de ejercicios, intercaladas con períodos de recuperación dentro de una sesión de entrenamiento. Esta definición implica que numerosas variables pueden ser modificadas para describir tales sesiones de entrenamiento. La modificación del número, duración e intensidad de la serie de ejercicios, y de la fase de recuperación, afecta el impacto del entrenamiento. Las numerosas variaciones de las modalidades de entrenamiento intervalado han sido revisadas por Billat (2001).

Durante el ciclismo, la carga inercial de las palancas depende del momento de inercia del disco o rueda trasera. Se ha demostrado que en la misma producción de potencia y cadencia, la carga inercial de las palancas es más alta durante el ciclismo en superficies llanas que durante el ciclismo en ascenso porque la inercia aumenta como una función cuadrática de la transmisión o desarrollo utilizado (Fregly et al. 2000). Además, un aumento en la inercia de las palancas va acompañado por un aumento en el torque máximo y por consiguiente se ha sugerido que los ciclistas prefieren las cadencias más altas durante el ciclismo realizado en el llano para reducir el torque máximo de las palancas (Hansen et al. 2002). Este hallazgo coincidió con lo observado por Lucía et al. (2001) quienes informaron una cadencia media significativamente menor durante la alta montaña ($71,0 \pm 1,4$ rev min^{-1}) que durante las etapas iniciales de salida masiva que se realizan en el llano ($89,3 \pm 1,0$ rev min^{-1}) y durante pruebas contrarreloj ($92,4 \pm 1,3$ rev min^{-1}) en ciclistas profesionales.

Durante el entrenamiento de ciclismo la velocidad o cadencia de pedaleo puede ser manejada para alterar la fuerza muscular que se aplica a las palancas. Cambiar la transmisión o desarrollo es la única posibilidad que tienen los ciclistas para influir en la relación fuerza-velocidad de la contracción muscular. Dependiendo del rango de los cambios, se puede aplicar una variedad de fuerzas y velocidades a una producción de potencia constante. Por ejemplo para producir una producción de potencia de 300 W con cadencias de 60 y 100 rev min^{-1} se necesitan fuerzas de 281 y 169N, respectivamente. En un estudio previo (Paton et al. 2009) los aumentos de rendimiento en la producción de potencia máxima (P_{max}), $\text{VO}_{2\text{max}}$ y producción de potencia en una concentración de lactato sanguíneo de 4 mmol L^{-1} fueron significativamente mayores en el grupo de baja cadencia (60-70 rev min^{-1}) en comparación con el grupo de alta cadencia (110-120 rev min^{-1}) (6-11 vs. 2-3%), que fueron atribuidos a una concentración de testosterona más alta en respuesta a las mayores fuerzas de pedaleo en el grupo de baja cadencia. Por consiguiente, un estímulo de entrenamiento con la misma producción de potencia, pero con cadencias diferentes podría producir adaptaciones específicas.

La literatura científica ofrece una variedad de estudios que investigaron los cambios en el rendimiento (Steppto et al. 1999; Burgomaster et al. 2006; Westgarth-Taylor et al. 1997), las adaptaciones metabólicas (Aughey et al. 2007; Burgomaster et al. 2005, 2008) y las adaptaciones del músculo esquelético (Gibala et al. 2006) en respuesta al entrenamiento intervalado. La gran mayoría de los estudios sobre el entrenamiento intervalado han sido realizados en bicicletas ergométricas para controlar las variables externas y la intensidad del ejercicio. Sin embargo, recientemente se han discutido las diferencias entre el ciclismo realizado en el laboratorio y al aire libre (Jobson et al. 2008 a, b), y se ha sugerido que la posición en la bicicleta, la resistencia al rodamiento, la pendiente del camino, el movimiento lateral de la bicicleta y la inercia de la rueda plantean demandas fisiológicas diferentes en el ciclismo que se realiza en el laboratorio y al aire libre. Con el uso de medidores de potencia móviles, es posible supervisar la intensidad del ejercicio en el campo y por consiguiente es posible estudiarla durante condiciones de ciclismo reales, lo que mejora la validez ecológica de las mediciones.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue investigar el efecto que tiene un período de entrenamiento intervalado aplicado durante 4 semanas en ciclismo en ascenso y en llano con la misma intensidad de ejercicio relativa, pero con cadencias diferentes, sobre la producción de potencia durante una prueba contrarreloj de 20 min en ascenso y en llano. Además, se analizarán los efectos en las mediciones relacionadas al rendimiento obtenidas durante tests de ejercicio incremental realizados en laboratorio. Siguiendo el principio de especificidad del entrenamiento, esperamos que un entrenamiento intervalado realizado en ascenso o en llano aumente la capacidad de rendimiento específicamente durante las pruebas contrarreloj en ascenso y en llano. Según los resultados de Paton et al. (2009) planteamos la hipótesis que las mejoras en el rendimiento durante las pruebas de esfuerzo progresivas incrementales serían mayores para el grupo que realizó el entrenamiento en ascenso. Finalmente, abordamos el cuestionamiento planteado en un estudio previo (Nimmerichter et al. 2010), con respecto a si existe o no una diferencia en la producción de potencia entre las pruebas contrarreloj de ciclismo realizadas en ascenso y las realizadas en el llano.

MÉTODOS

Participantes

Dieciocho ciclistas entrenados (Tabla 1) fueron asignados al azar a uno de tres grupos. El Grupo 1 realizó entrenamiento intervalado en ascenso con una cadencia de 60 rev min⁻¹ (Int₆₀), el Grupo 2 realizó entrenamiento intervalado en el llano con una cadencia de 100 rev min⁻¹ (Int₁₀₀) y el Grupo 3 (Control) continuó su entrenamiento establecido pero no realizó ningún entrenamiento intervalado durante las 4 semanas del estudio. Un participante del grupo control se lesionó por lo que sus datos pre-entrenamiento fueron excluidos del estudio. Los participantes tenían un historial de entrenamiento de por lo menos 5 años y habían entrenado durante 11,8±2,7 h por semana en las últimas 12 semanas previas al estudio. Todos los participantes completaron un examen médico antes de comenzar el estudio, y se les informaron los procedimientos experimentales para que firmaran un consentimiento informado antes de participar. El estudio se realizó cumpliendo los principios éticos de la Declaración de Helsinki (Harriss y Atkinson 2009) y fue aprobado por el comité de ética institucional.

En un estudio previo (Nimmerichter et al. 2010), investigamos la confiabilidad test re-test de la producción de potencia calculada en pruebas contrarreloj de 20 min. Obtuvimos un coeficiente de correlación intraclass de 0,98 (95% CL 0,95-0,99) y un sesgo± error aleatorio de -1,8 ± 14 W o 0,6 ± 4,4%. El menor efecto importante para el estudio presente se fijó en 15 W. En una producción de potencia estimada de 280 W para los participantes en este estudio, un cambio de 15 W (5%) produciría una diferencia de ±24 s(2%) durante una prueba contrarreloj de 13-km. Sobre la base de estos supuestos, se calculó que era necesario tener 6 participantes en cada de grupo para tener una oportunidad de 90% de descubrir una diferencia media de 15 W con un nivel de alfa de 0,05.

	Grupo		
	Int ₆₀ (n= 6)	Int ₁₀₀ (n= 6)	Control (n= 5)
Edad (años)	30±6,8	31±6,9	33±5,1
Talla (cm)	179±3,2	177±4,8	182±7,0
Masa Corporal (kg)	70,9±6,4	71,5±5,0	75,4±4,2
VO _{2max} (mL min ⁻¹ kg ⁻¹)	61,1±5,0	58,8±6,0	55,4±4,3

Tabla 1. Características de los sujetos (Media±SD). No se observaron diferencias significativas entre los grupos

Diseño del Estudio

Durante los 10 días previos al comienzo de la intervención, los participantes realizaron una prueba de esfuerzo progresiva incremental en el laboratorio (GXT) y dos pruebas contrarreloj con potencia máxima de 20-min en una ruta en el llano (TT_{flat}) y en una ruta de ascenso (TT_{up}). Ambos grupos de entrenamiento realizaron dos sesiones de entrenamiento intervalado por semana durante 4 semanas, mientras que el grupo control no realizó entrenamiento intervalado. Entre los 7 y 12 días posteriores a la última sesión de entrenamiento, se repitieron las pruebas GXT y las pruebas contrarreloj. A todos los participantes se les proporcionó una hoja de cálculo de PC para registrar el tiempo y la evaluación del esfuerzo percibido en cada entrenamiento (RPE de la sesión con una puntuación entre 6-20) (Foster et al. 2001; Borg 1970) para calcular un impulso de entrenamiento integrado (TRIMP= RPE de la sesión x tiempo de entrenamiento) (Foster et al. 2001; Banister y Calvert 1980).

Pruebas de Laboratorio

La prueba de esfuerzo progresiva incremental se realizó en una bicicleta ergométrica con freno electromagnético (*Lode Excalibur, Groningen, Países Bajos*) para evaluar los valores máximos de parámetros como consumo de oxígeno (VO_{2max}), producción de potencia (P_{max}), frecuencia cardíaca (HR_{max}) y la concentración de lactato sanguíneo (BL_{max}). Además, se determinaron los valores submáximos de umbral ventilatorio (VT) y el punto de compensación respiratoria (RCP) para fijar la intensidad de ejercicio individual para el entrenamiento intervalado. Después de una entrada en calor de 5 min a 50 W, la velocidad de trabajo aumentó 25 W min⁻¹ hasta el agotamiento. Si la última velocidad de trabajo no podía ser completada, la potencia máxima se calculaba según el método de Kuipers et al. (1985): P_{max} = PL + (t/60 x PI), donde PL es la última velocidad de trabajo completada (W), t es el tiempo de la velocidad de trabajo incompleta (s) y PI es la velocidad

de trabajo incremental (W). Durante la prueba se recolectaron constantemente los datos del intercambio gaseoso respiración-por-respiración mediante espirometría de circuito abierto (*Master Screen CPX, VIASYS Healthcare, Hoechberg, Alemania*). Antes de cada prueba, se calibró el flujo y el volumen con un sistema integrado según las recomendaciones del fabricante. El consumo de oxígeno máximo ($VO_{2\text{máximo}}$) se registró como el valor de VO_2 más alto obtenido en todos los períodos de 30 s continuos durante la prueba. Se requirió el cumplimiento de por lo menos dos de los siguientes criterios para considerar que se había alcanzado el $VO_{2\text{max}}$: una meseta en el VO_2 a pesar de un aumento en la tasa de trabajo (Taylor et al. 1955; Howley et al. 1995), una tasa de intercambio respiratorio por encima de 1,10 (Duncan et al. 1997), una frecuencia cardíaca dentro de ± 10 lat min^{-1} del máximo establecido para la edad ($220 - 0,7 \times \text{edad}$) (Gellish et al. 2007). El umbral ventilatorio se determinó usando el criterio de un aumento del equivalente ventilatorio de O_2 (VE/VO_2) sin un aumento concomitante en el equivalente ventilatorio de CO_2 (VE/VCO_2), la primera pérdida de linealidad en la ventilación pulmonar (VE) y en la ventilación de dióxido de carbono (VCO_2) (Beaver et al. 1986). El punto de compensación respiratoria (RCP) se determinó usando el criterio de un aumento tanto en VE/VO_2 como en VE/VCO_2 y la segunda pérdida de linealidad en VE y en VCO_2 (Wasserman et al. 1999). Dos observadores determinaron el VT y RCP. En caso de que existiera falta de acuerdo se consultó a un tercer investigador.

Para determinar BL_{max} se extrajo una muestra de 20 μl de sangre capilar del lóbulo de la oreja, 1 min después del ejercicio y se diluyó inmediatamente en 1000 μl de una solución de glucosa. La concentración de lactato en sangre (mmol L^{-1}) se determinó mediante un analizador de lactato automatizado (*Biosen, S-line EKF Diagnostic, Barleben, Alemania*). La frecuencia cardíaca fue continuamente monitoreada durante prueba con un electrocardiógrafo de 12 derivaciones (*Cardiovit AT 104 PC, Schiller, Baar, Suiza*).

Pruebas contrarreloj

Se realizaron dos pruebas contrarreloj de 20-min con potencia máxima en una ruta llana (TT_{flat}) y en una ruta en ascenso (TT_{up}). Los perfiles de las rutas utilizadas en las pruebas contrarreloj se presentan en la Figura 1. El recorrido en ascenso tenía una longitud de 7 km con una altitud en la cima de 1000 m y una pendiente media de 8,5%. Dado que ese recorrido específico se ha utilizado previamente para competencias de ciclismo y que el tiempo de ascenso alcanzado por un ciclista de nivel mundial fue 19 min, se supuso que ninguno de los participantes de este estudio completaría el recorrido en un tiempo menor a los 20 min establecidos. Las pruebas contrarreloj tenían una separación de por lo menos 1 hora. El orden de cual sería la primera prueba contrarreloj (es decir en ascenso o llano) fue establecido al azar y fue contrabalanceado dentro de los grupos durante las determinaciones pre-test y fue invertido en las determinaciones post-test. Antes de las pruebas contrarreloj se realizó una entrada en calor estandarizada de 30 minutos. Después de 15 min a 40-60% de la producción de potencia en RCP, se realizaron tres esfuerzos de 1-min en la producción de potencia en RCP separados por 2 min y seguidos por otros 6 min al 40-60% de RCP. Después de la primera prueba contrarreloj, los atletas pedalearon durante 15 min a una intensidad baja seleccionada por ellos mismos antes de descansar durante 30-40 min. Antes de realizar la segunda prueba contrarreloj realizaron una entrada en calor de 15 min al 40-60% de la producción de potencia en RCP.

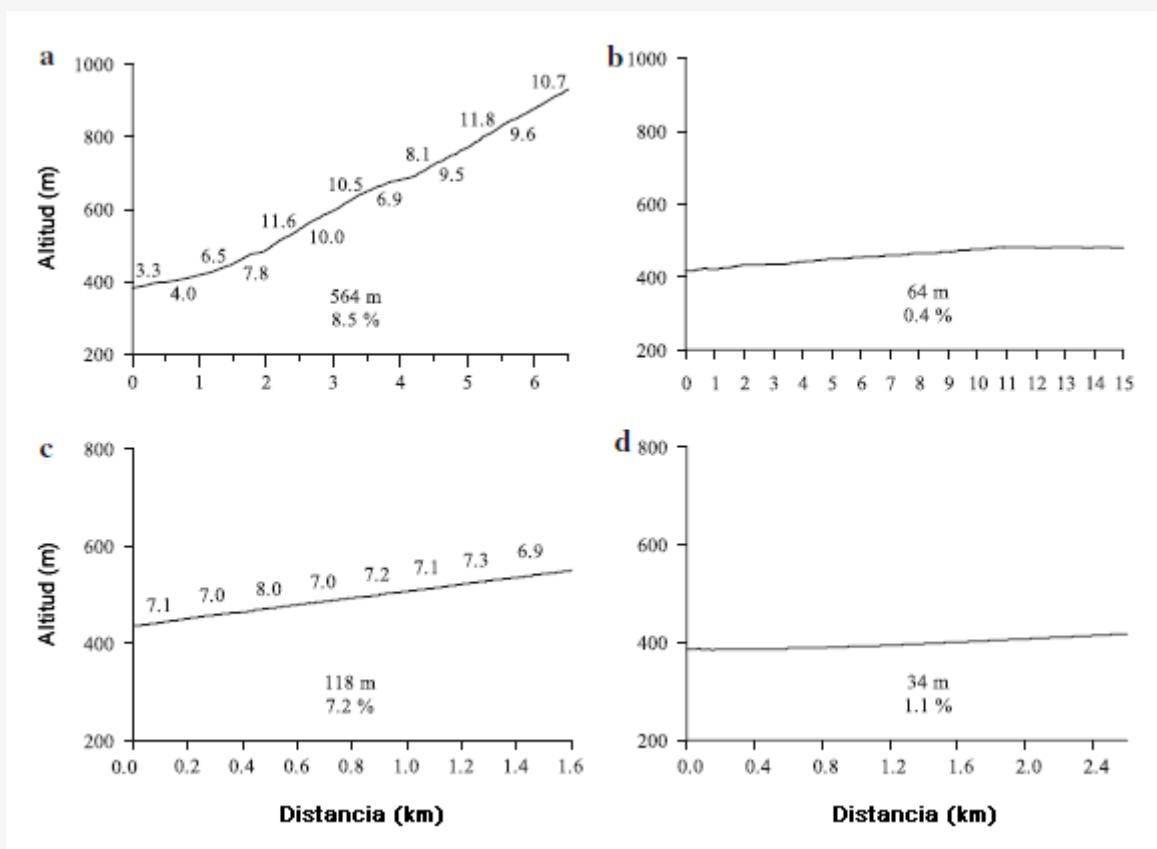


Figura 1. Perfiles de las rutas de las pruebas contrarreloj de ascenso (a) y en el llano (b) y de los entrenamientos en rutas en ascenso (c) y llanas (d). Se presentan los valores de la pendiente media de cada sección de 500 y 200 m para las rutas de la prueba contrarreloj y del entrenamiento en ascenso, respectivamente.

Se registraron los valores de producción de potencia, frecuencia cardíaca, cadencia y velocidad a 1 Hz durante las pruebas contrarreloj utilizando potenciómetros SRM ubicados en las bielas (*Schoberer Rad-Messtechnik, Jillich, Alemania*). Se realizó un procedimiento de calibración estático en todos los dispositivos antes del estudio siguiendo la metodología establecida por Wooles et al. (2005). Antes de cada prueba, el investigador ajustó la desviación de la frecuencia cero siguiendo las instrucciones del fabricante. La única información que los ciclistas recibieron durante las pruebas contrarreloj fue el tiempo transcurrido. Un minuto después de la realización de cada prueba contrarreloj, se extrajo una muestra de sangre del lóbulo de la oreja para determinar la concentración de lactato sanguíneo.

Entrenamiento Intervalado

Los participantes de los grupos de entrenamiento sustituyeron dos sesiones de entrenamiento por semana, que normalmente contenían sesiones de pedaleo de 2-4 h, con entrenamiento intervalado. Durante 4 semanas, ambos grupos de entrenamiento realizaron 6 intervalos de 5 min (6 x 5) a una intensidad correspondiente a la potencia en RCP, separados con 5 min a 30-50% de la potencia en RCP. En los ciclistas entrenados, se ha demostrado que cuatro a ocho repeticiones de intervalos aeróbicos de entre 4 y 5 min realizados a 80-85% de P_{max} durante 3-6 semanas representan un estímulo adecuado para mejorar el VO_{2max} , la P_{max} y el rendimiento en pruebas contrarreloj (Lindsay et al. 1996; Stepto et al. 1999; Westgarth-Taylor et al. 1997). El período de descanso de 5 min fue seleccionado para permitir que los ciclistas volvieran a la condición inicial.

En las sesiones de entrenamiento se utilizó el mismo procedimiento de entrada en calor que se utilizó en las pruebas contrarreloj. El grupo Int_{60} realizó los intervalos en un camino ascendente con una pendiente media de 7% (Figura 1) y con una cadencia de 60 rev min^{-1} , mientras que los participantes del grupo Int_{100} realizaron su entrenamiento en un camino llano con una cadencia de 100 rev min^{-1} . Todas las sesiones de entrenamiento fueron registradas con los potenciómetros SRM tal como se describió previamente. En las sesiones de entrenamiento 1, 4, y 8 se obtuvieron muestras de sangre después de cada serie para la determinación de la concentración de lactato sanguíneo.

Análisis Estadísticos

El análisis estadístico se realizó con el software estadístico PASW Statistic 18 para Mac OS X (SPSS Inc., Chicago, IL). Los datos descriptivos se presentan en forma de media±desviación estándar (SD) y límites de confianza 95% (CL). Después de verificar el supuesto de normalidad con el test Kolmogorov Smirnov y el test de probabilidad de Liliefors, se utilizó un ANOVA mixto con tres factores para analizar la producción de potencia, cadencia, frecuencia cardíaca y concentración de lactato en sangre durante las pruebas contrarreloj [grupo (Int₆₀ vs Int₁₀₀ vs. Con) x tiempo (pre vs post) x ruta (TT_{up} contra TT_{flat})] y para analizar la frecuencia cardíaca y las concentraciones de lactato sanguíneas medidas durante el entrenamiento [Grupo (Int₆₀ vs Int₁₀₀) x entrenamiento (1ra vs. 4ta vs. 8va) x intervalo (1-6)]. Los resultados de la prueba de esfuerzo progresiva incremental antes y después de la intervención, así como el tiempo de entrenamiento semanal antes y durante la intervención, fueron comparados con un ANOVA mixto de dos factores [Grupo (Int₆₀ vs Int₁₀₀ vs. Control) x tiempo (pre vs post)]. Mediante un ANOVA de una vía se evaluaron las diferencias entre los grupos de los valores del impulso de entrenamiento (TRIMP) y puntuaciones de esfuerzo percibido (RPE). Las interacciones significativas y los efectos principales fueron identificados mediante el test post hoc de Tukey HSD. Los tamaños de efecto se presentan como Eta cuadrada parcial (η^2P) y fueron clasificados como efecto pequeño (0,01), moderado (0,1) y grande (0,25) (Cohen 1988). Las relaciones entre las variables fueron analizadas con las correlaciones momento producto de Pearson.

Para todos los análisis estadísticos, el nivel de significancia se fijó en $p < 0,05$.

RESULTADOS

Registros del Entrenamiento

No se observaron diferencias significativas entre los tres grupos en el tiempo de entrenamiento ($F_{2,14} = 2,1$; $p = 0,15$; $\eta^2P = 0,23$; Con: 10,4±2,7 horas por semana; 7,1-13,8; Int₁₀₀: 13,3±2,0 horas por semana; 11,2-15,4; Int₆₀: 12,8±2,8 horas por semana; 9,8-15,7). Se observó un aumento pequeño ($0,5 \pm 0,4$ horas por semana; 0,15-0,86) pero significativo ($F_{1,14} = 9,1$; $p < 0,01$; $\eta^2P = 0,39$) en el tiempo de entrenamiento durante la intervención comparado con las 12 semanas antes del estudio sin efectos de grupo significativos ($F_{2,14} = 1,4$; $p = 0,28$; $\eta^2P = 0,17$). Los valores medios del índice de esfuerzo percibido (RPE) por sesión fueron significativamente más altos ($F_{2,14} = 10,1$; $p < 0,01$; $\eta^2P = 0,59$) para Int₁₀₀ (13,7 ± 0,6; 13,0-14,3) e Int₆₀ (13,7±0,7; 13,1-14,4) que para el grupo Con (11,9±1,0; 10,7-13,1). Además los valores de TRIMP fueron significativamente más altos ($F_{2,14} = 6,9$; $p < 0,01$; $\eta^2P = 0,5$) para los grupos Int₁₀₀ (42812 ±6409; 36086-19537) e Int₆₀ (40666±7370; 32932-48399) en comparación con el grupo Con (28119±7126; 19271-36968).

Prueba de Esfuerzo Progresiva Incremental

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las pruebas de esfuerzo incrementales. Se observó un efecto principal significativo del tiempo en P_{max} ($F_{1,14} = 14,5$; $p < 0,01$; $\eta^2P = 0,51$), producción de potencia ($F_{1,14} = 4,8$; $p < 0,05$; $\eta^2P = 0,26$) y consumo de oxígeno ($F_{1,14} = 5,3$; $p < 0,05$; $\eta^2P = 0,27$) en el punto de compensación respiratoria (RCP) y para el consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio (VT) ($F_{1,14} = 14,1$; $p < 0,01$; $\eta^2P = 0,5$). Después del entrenamiento P_{max} , la producción de potencia y el VO_2 en el RCP y el VO_2 en VT aumentaron 2,8±3,0% (1,2-4,4), 3,6±6,3% (0,3-6,8), 4,7±8,2% (0,5-8,9) y 4,9±5,6% (2,2-7,8), respectivamente. No se observaron interacciones significativas de grupo x tiempo ($p = 0,48-0,77$; $\eta^2P = 0,1-0,04$).

Parámetro		Grupo		
		Int ₆₀	Int ₁₀₀	Control
P _{max} (W)*	Pre	392±21	391±57	394±31
	95% CL	370-114	331-451	355-433
	Post	400±16	402±61	408±34
	95% CL	383-418	338-466	365-450
VO _{2max} (mL min ⁻¹ kg ⁻¹)	Pre	61,1±5,0	58,8±6,0	55,4±4,3
	95% CL	55,9-66,4	52,5-65,1	50,1-60,7
	Post	60,8±3,3	60,1±7,7	57,2±5,2
	95% CL	57,3-64,3	52,0-68,1	50,7-63,7
RCP (W)*	Pre	297±11	304±55	298±36
	95% CL	286-308	246-361	253-342
	Post	311±21	316±59	301±37
	95% CL	289-333	255-378	256-347
RCP (mL min ⁻¹ kg ⁻¹)*	Pre	50,4±4,8	48,6±6,3	45,2±5,2
	95% CL	45,3-55,4	41,9-55,2	38,7-51,7
	Post	51,5±5,0	51,6±6,6	47,2±3,7
	95% CL	46,3-56,8	44,7-58,5	42,6-51,8
VT(W)	Pre	190±21	199±38	187±21
	95% CL	168-212	160-239	160-213
	Post	198±11	200±36	187±26
	95% CL	186-209	162-238	155-219
VT (mL min ⁻¹ kg ⁻¹)*	Pre	35,7±3,1	35,3 ± 5,2	30,7±3,8
	95% CL	32,5-38,9	29,9-40,8	26,1-35,4
	Post	37,4±3,6	36,4±4,5	32,9±3,8
	95% CL	33,6-41,2	31,7-41,0	28,1-37,6

Tabla 2. Resultados de la prueba de esfuerzo progresiva (GXT) antes y después de la intervención de entrenamiento (Media±SD). P= Producción de potencia, VO₂= consumo de oxígeno, RCP=punto de compensación respiratoria, VT= umbral ventilatorio, CL= límite de confianza.

* Se observó un efecto principal del tiempo (post> pre), p <0,05

Pruebas Contrarreloj

Se encontró un efecto principal significativo del factor ruta en la producción de potencia (F1,14=25,3; p<0,001; η²P=0,64), la cadencia (F1,14= 651,5; p <0,001; η²P=0,98), la frecuencia cardíaca (F1,14= 57,1; p<0,001; η²P=0,8) y en la concentración de lactato en sangre (F1,14=17,5; p<0,001; η²P=0,56). La producción de potencia fue significativamente más alta durante las pruebas contrarreloj en ascenso y fue acompañada por frecuencias cardíacas y concentraciones del lactato sanguíneo significativamente más altas (Tabla 3). El ANOVA reveló un efecto principal significativo del tiempo en la frecuencia cardíaca (F1,14=8,5; p<0,05; η²P=0,38) (post llano); p<0,001.

Se observaron interacciones significativas tiempo x ruta x grupo en la producción de potencia (F2,14=6,2; p<0,05; η²P=0,47). Esto indica que ambos grupos de entrenamiento intervalado aumentaron la producción de potencia después del entrenamiento durante TT_{flat} (Int₁₀₀: 2,6±6,0%; -3,7-8,9 e Int₆₀: 1,5±4,5%; -3,2-6,2) en comparación con el grupo control (-3,5±5,4%; -10,1-3,2). La producción de potencia durante TT_{up} aumentó después del entrenamiento en los grupos Int₆₀ (4,4±5,3%; -1,2-9,9) y Con (4,0±4,6%; -1,7-9,8), pero no en el grupo Int₁₀₀ (-1,3±3,6%; -5,1-2,4). Los tres grupos presentaron producciones de potencia más altas antes de la intervención durante TT_{up} (Con: 3,4±6,6%; -4,8-11,6, Int₁₀₀: 5,4±5,8%; -0,7-11,5 e Int₆₀: 4,4±6,7%; -2,7-11,4). Luego del entrenamiento, en Int₆₀ aumentó la diferencia respecto a TT_{flat} (7,2±4,9%; 2,0-12,3). Además, el grupo control aumentó la diferencia entre las pruebas contrarreloj realizadas en ascenso y en llano (11,4±4,6%; 5,7-17,1). Sin embargo, éste fue el resultado de un aumento y disminución en la producción de potencia durante TT_{up} y TT_{flat}, respectivamente. Finalmente, el grupo Int₁₀₀ redujo la diferencia entre la prueba contrarreloj realizada en ascenso y en llano (1,3±2,0%; -0,8-3,4). Esto se atribuyó a un aumento y disminución en la producción de potencia durante las condiciones TT_{flat} y TT_{up}, respectivamente. Los cambios en la producción de potencia durante las

pruebas contrarreloj en ascenso y en el llano se presentan en la Figura 2.

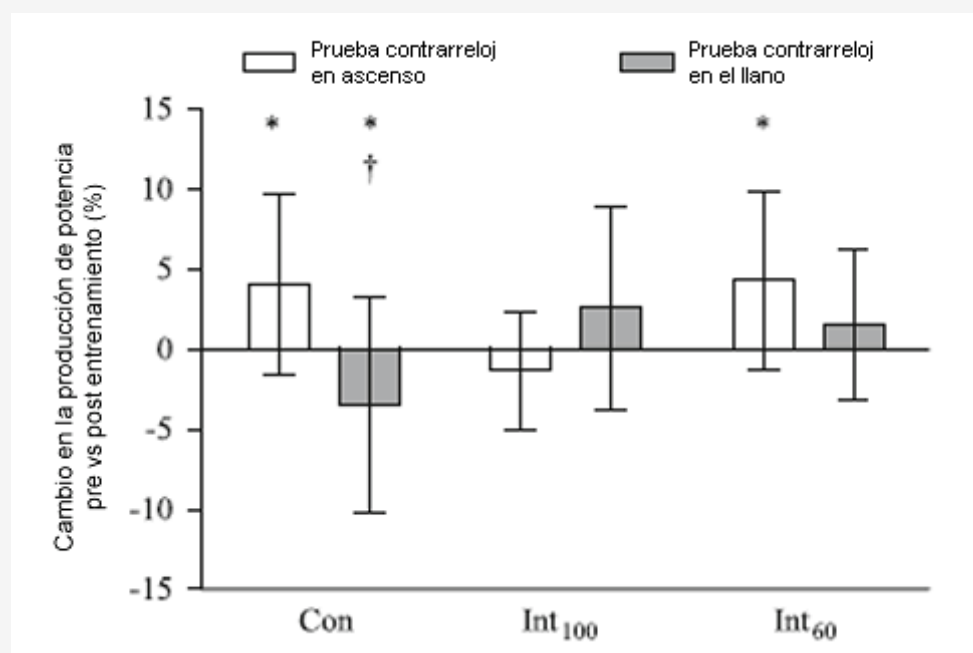


Figura 2. Cambios en la producción de potencia pre vs post entrenamiento durante las pruebas contrarreloj realizadas en ascenso y en el llano. Las barras del error representan 95% CL. * Significativamente diferente de Int₁₀₀ con $p < 0,05$; † significativamente diferente de Int₆₀ con $p < 0,05$

Las producciones de potencia de las pruebas contrarreloj en ascenso, antes (pre) y después (post) del entrenamiento presentaron una fuerte correlación con P_{max} ($r=0,92$ y $0,91$; $p < 0,001$) y RCP ($r = 0,9$ y $0,85$; $p < 0,001$). Además, las velocidades durante las pruebas contrarreloj en ascenso antes (pre) y después (post) del entrenamiento se correlacionaron fuertemente con P_{max} ($r = 0,71$ y $0,74$; $p < 0,001$), VO_{2max} ($r = 0,8$ y $0,88$; $p < 0,001$), RCP ($r = 0,85$ y $0,72$; $p < 0,001$ y $0,01$) y con la producción de potencia en TT_{up} ($r=0,71$ y $0,74$; $p < 0,01$). En cuanto a los valores pre y post entrenamiento de las pruebas contrarreloj realizadas en el llano, se observaron correlaciones fuertes entre las producciones de potencia y P_{max} ($r = 0,86$ y $0,88$; $p < 0,001$) y RCP ($r = 0,84$ y $0,88$; $p < 0,001$). En las determinaciones de las pruebas contrarreloj realizadas pre-entrenamiento, las correlaciones entre las velocidades y los parámetros de rendimiento no fueron significativas o fueron moderadas ($r=0,36$; $p = 0,14$ para P_{max} ; $r = 0,38$; $p = 0,14$ para VO_{2max} ; $r=0,53$; $p < 0,05$ para RCP; y $r = 0,52$; $p < 0,05$ para producción de potencia en TT_{flat}). Sin embargo, luego del entrenamiento estas correlaciones fueron más fuertes para P_{max} ($r=0,76$; $p < 0,001$), VO_{2max} ($r=0,76$; $p < 0,001$), RCP ($r = 0,82$; $p < 0,001$) y producción de potencia en TT_{flat} ($r=0,79$; $p=0,001$).

Entrenamiento Intervalado

Dado que el supuesto de esfericidad no se cumplió en el factor intervalo (Tets de Mauchly: $\chi^2(14) = 71,4$; $p < 0,001$), se realizó un ajuste de los grados de libertad (Greenhouse-Geisser: $\epsilon = 0,26$). Se observó un efecto principal significativo del intervalo para la frecuencia cardíaca ($F_{1,3,13,1} = 16,3$; $p < 0,001$; $\eta^2P=0,62$). La frecuencia cardíaca aumentó significativamente durante los intervalos (Figura 3). No se observó ningún efecto principal significativo del intervalo en la concentración de lactato en sangre ($F_{1,3,12,7} = 1,1$; $p = 0,36$; $\eta^2P=0,09$) (Figura 3). Además, no se observó ningún efecto principal significativo del grupo ($p=0,68-0,95$; $\eta^2P = 0,04-0,01$), del entrenamiento ($p=0,23-0,83$; $\eta^2P = 0,13-0,04$) ni se observaron interacciones grupo x entrenamiento x intervalo ($p=0,39-0,99$; $\eta^2P=0,1-0,01$). Los coeficientes de variación (CV) de producción de potencia y cadencia entre las sesiones de entrenamiento ($n=8$) fueron $1,1 \pm 0,3$ y $1,6 \pm 0,3\%$ para Int₆₀ y $1,5 \pm 0,3$ y $1,2 \pm 0,2\%$ para Int₁₀₀. Entre los intervalos ($n=48$), los CV de producción de potencia y cadencia fueron $1,5 \pm 0,6$ y $2,4 \pm 1,1\%$ vs. $2,4 \pm 1,0$ y $1,5 \pm 0,5\%$ para Int₆₀ e Int₁₀₀, respectivamente.

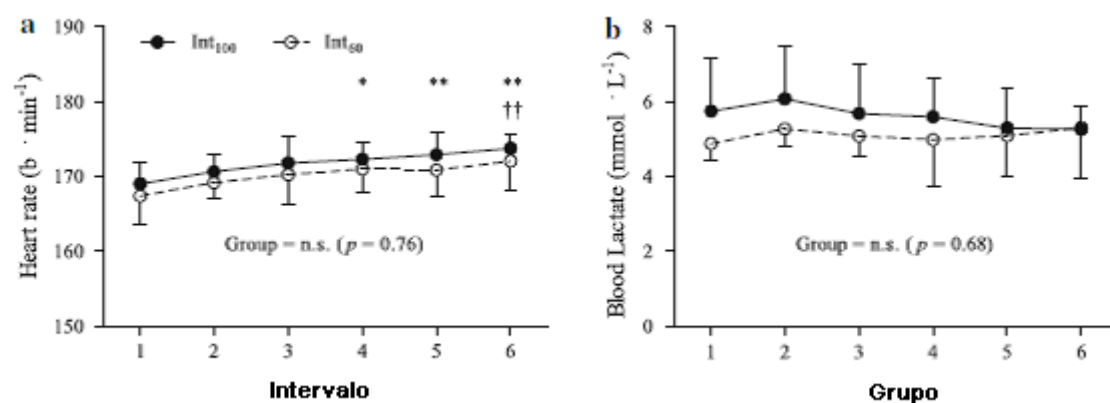


Figura 3. Perfiles de frecuencia cardiaca (a) y lactato sanguíneo (b) durante los entrenamientos intervalados. Las barras de error representan el 95% CL. * Se observan diferencias significativas con respecto al intervalo 1 con $p < 0,05$ y ** con $p < 0,01$; † Se observan diferencias significativas con respecto al intervalo 2 con $p < 0,01$; n.s= no significativo

DISCUSION

Según nuestros conocimientos, éste fue el primer estudio que investigó los efectos del entrenamiento intervalado aeróbico realizado en diferentes terrenos y cadencias en el campo, sobre el rendimiento durante pruebas de esfuerzo progresivas y pruebas contrarreloj.

Los nuevos resultados indican que la sustitución de dos sesiones por semana de entrenamiento para la resistencia continuo por entrenamiento intervalado en una ruta llana o en ascenso durante 4 semanas, no aporta beneficios adicionales a los parámetros de rendimiento obtenidos con una GXT en ciclistas altamente entrenados. Sin embargo, la magnitud de los cambios en la producción de potencia durante las pruebas contrarreloj en ascenso y en el llano fue significativamente diferente entre los grupos de entrenamiento. Esto sugiere que deberían seleccionarse tests de campo específicos para revelar las adaptaciones a una estrategia de entrenamiento específica. Además, se observó que la producción de potencia durante una prueba contrarreloj de 20 min en una ruta de ascenso fue superior a la de una prueba contrarreloj en una ruta llana.

En el presente estudio, no observamos ninguna diferencia significativa en las mejoras de rendimiento evaluadas durante una GXT entre los dos grupos de entrenamiento intervalado y el grupo control. Aunque el grupo control realizó en promedio aproximadamente 2 h menos de entrenamiento por semana que los grupos de entrenamiento intervalado, los tiempos de entrenamiento totales y el aumento durante la intervención no fue significativamente diferente entre los grupos. El TRIMP y las puntuaciones de RPE de la sesión fueron significativamente más altas para los grupos de entrenamiento intervalado. Este hallazgo indica la importancia de entrenar el volumen como estímulo principal para atletas de resistencia (Jobson et al. 2009; Nimmerichter et al. 2011) y que el aumento en la intensidad del ejercicio no necesariamente aumenta el rendimiento. Esto coincide con estudios previos que observaron aumentos de rendimiento similares después de entrenamiento intervalado de sprint de corto plazo versus entrenamiento de resistencia tradicional en sujeto activos, pero desentrenados (Burgomaster et al. 2008; Gibala et al. 2006).

Aunque varios estudios han informado adaptaciones fisiológicas y de rendimiento en respuesta a los diferentes modos de entrenamiento intervalado, los efectos de la cadencia durante tales intervalos no habían sido observados. Conocemos un solo estudio que comparó los efectos sobre el rendimiento de la cadencia baja (60-70 rev min⁻¹) y la cadencia alta (110-120 rev min⁻¹) durante entrenamiento intervalado con sprints de 30 seg (Paton et al. 2009). En el último estudio, los aumentos de rendimiento (es decir P_{max} , VO_{2max} y producción de potencia en una concentración de lactato sanguíneo de 4 mmol L⁻¹) fueron mayores para el grupo que utilizó la cadencia baja (6-11%) en comparación con el grupo con cadencia alta (2-3%), algo que fue atribuido a una concentración de testosterona más alta en respuesta a las fuerzas de pedaleo más altas del grupo con cadencia baja (Paton et al. 2009).

En contraste con los resultados de la GXT del estudio presente, se observó una interacción significativa entre tiempo x ruta x grupo para la producción de potencia de las pruebas contrarreloj. Según Bertucci et al. (2005, p 1008), quienes concluyeron que "... sería necesario entrenar en condiciones específicas (ciclismo en ruta de ascenso y en rutas llanas y

cadencias bajas y altas) para desarrollar estas adaptaciones musculares específicas... ", los dos grupos de entrenamiento intervalado en nuestro estudio presentaron mejoras en el rendimiento más altas en el terreno donde se realizaron las sesiones de entrenamiento intervalado (Int_{100} : $2,6 \pm 6,0$ y $-1,3 \pm 3,6\%$ para TT_{flat} y TT_{up} , respectivamente; Int_{60} : $4,4 \pm 5,3$ y $1,5 \pm 4,5\%$ para TT_{up} y TT_{flat} , respectivamente). La magnitud de las mejoras y el hecho que el grupo Int_{60} aumentó la producción de potencia durante las pruebas contrarreloj en ascenso y en superficies llanas apoyan los resultados de Paton et al. (2009), que demuestran que el entrenamiento intervalado con cadencia baja es potencialmente superior al intervalado de cadencia alta. Esto fue apoyado por un estudio longitudinal de ciclistas de élite en el cual el tiempo de entrenamiento destinado a aumentar la fuerza (es decir intervalos de 2-20 min a $40-60 \text{ rev min}^{-1}$) se correlacionó fuertemente con la clasificación de los ciclistas ($r = -0,86$; $p < 0,01$) y con una mejora en la producción de potencia de la prueba contrarreloj de 20-min durante la temporada ($r = 0,83$; $p < 0,05$) (Nimmerichter et al. 2011). Por otra parte, la intensidad de estos intervalos se relacionó con la producción de potencia en pruebas contrarreloj de 20-min ($r = 0,88$; $p < 0,01$) y VO_{2max} ($r = 0,89$; $p < 0,01$) (Nimmerichter et al. 2011). Aunque los mecanismos subyacentes no están completamente claros, algunas explicaciones posibles son: (1) en cualquier producción de potencia dada, las cadencias bajas requieren fuerzas más altas que (2) aumentan la fatiga neuromuscular, tal como lo indica un aumento de la media cuadrática del EMG en los músculos vastos laterales y glúteos máximos en producciones de potencia altas (es decir $>300 \text{ W}$) (Lucía et al. 2004). Para generar y sostener fuerzas más altas se sugiere (3) un reclutamiento adicional de fibras de tipo II que se ha demostrado que son más eficaces que las fibras tipo I en las velocidades de contracción más altas (Sargeant 1994) y (4) aumentos en las concentraciones de testosterona (Paton et al. 2009) y de la hormona de crecimiento humana (Lafortuna et al. 2003).

Se podría argumentar que el entrenamiento a baja cadencia no coincide con las observaciones de estudios recientes (Lucía et al. 2004; Vercruyssen y Brisswalter 2010) que han observado cadencias seleccionadas libremente entre 90 y 100 rev min^{-1} en ciclistas entrenados en producciones de potencia altas. Sin embargo, nos gustaría destacar que una estrategia de baja cadencia durante algunos intervalos de alta intensidad y sus beneficios asociados, no se oponen a una cadencia más alta elegida libremente. Es más, esta observación se basa en un principio de entrenamiento básico de que para mejorar el rendimiento es necesario imponer desafíos un sistema fisiológico dado durante el ejercicio. Debemos resaltar que el grupo control también aumentó la producción de potencia durante TT_{up} en $4,0 \pm 4,6\%$, pero no durante TT_{flat} ($-3,5 \pm 5,4\%$). Aun después de volver a revisar los registros, no hemos encontrado ninguna explicación para esta adaptación en el grupo control.

Este estudio también mostró por primera vez, que los ciclistas entrenados pueden producir producciones de potencia significativamente más altas durante las pruebas contrarreloj en ascenso que las realizadas en el llano de la misma duración. Esto se observó en las condiciones pre y postentrenamiento ($4,4 \pm 6,0$ y $6,4 \pm 5,6\%$, respectivamente). Las mayores producciones de potencia fueron acompañadas por respuestas cardiovasculares y metabólicas más altas e indican una tensión fisiológica más alta durante las pruebas contrarreloj en ascenso (Padilla et al. 2000). Estos resultados complementan lo observado en un reciente estudio (Nimmerichter et al. 2010) donde la producción de potencia durante una prueba contrarreloj en el llano se correlacionó fuertemente con las medidas de GXT ($p < 0,001$) y no fue significativamente diferente de la producción de potencia en RCP ($p = 0,97$). Las correlaciones fuertes entre las producciones de potencia de pruebas contrarreloj en ascenso y llanas y las medidas de GXT observadas en el estudio presente coinciden con lo observado en estudios anteriores (Balmer et al. 2000; Nimmerichter et al. 2010). Las velocidades durante las pruebas contrarreloj en ascenso se relacionaron fuertemente con las mediciones de GXT y las producciones de potencia en TT_{up} , mientras que las relaciones entre las velocidades de las pruebas contrarreloj en el llano y medidas de rendimiento fueron mucho más variables (Jobson et al. 2009). Esto indica que la velocidad, sobre todo en el terreno llano, esta influenciada principalmente por las condiciones externas (por ejemplo la aerodinámica, la resistencia al rodamiento) y por consiguiente debe ser utilizada con cuidado como una medida de rendimiento especialmente en los diseños de estudios con medidas repetidas.

Finalmente, los bajos coeficientes de variación (CV) observados para la producción de potencia y cadencia entre las 8 sesiones de entrenamiento y los 48 intervalos indica que los 12 participantes completaron la tarea requerida con precisión. Esta observación demuestra que los ciclistas altamente entrenados pueden controlar ambas variables dentro de un rango estrecho a pesar del hecho que nueve de nuestros atletas no tenían la experiencia anterior con potenciómetros móviles. La respuesta cardiovascular y metabólica fue ligeramente, aunque no significativamente superior, en el grupo Int_{100} en comparación con el grupo Int_{60} . Este hallazgo coincide con lo observado por Vercruyssen et al. (2005) quienes informaron una frecuencia cardíaca y una concentración de lactato sanguíneo significativamente menores en las cadencias más baja en triatletas, pero contradicen lo observado por Lucía et al. (2004) quienes informaron lo contrario en ciclistas profesionales. Los autores concluyeron que la mayor eficiencia con cadencia alta es una de las principales adaptaciones de los ciclistas profesionales (Lucía et al. 2004).

El presente estudio tiene algunas limitaciones. Con respecto al diseño, el estudio intentó reproducir una situación de entrenamiento intervalado para ciclismo al aire libre que normalmente se realiza en alguna ruta en dirección de ida y vuelta. Por lo tanto, los períodos de descanso entre los intervalos fueron más largos que los de estudios comparables

realizados en un laboratorio (Stepto et al. 2001; Weston et al. 1997). Este estudio contó con un número limitado de dispositivos SRM y por consiguiente no fue posible que todos los atletas realizaran el estudio completo en exactamente el mismo momento del año. La recolección de los datos fue realizada en tres etapas desde mayo a agosto. Aunque se asignaron dos ciclistas de cada grupo a las tres etapas, no podemos descartar la posibilidad de que un pequeño cambio estacional en el rendimiento haya afectado los resultados (Nimmerichter et al. 2011).

En conclusión, este estudio ha demostrado que el entrenamiento intervalado realizado en rutas ascendentes o llanas, con cadencias altas o bajas, durante una prueba de esfuerzo progresiva (GXT) produce aumentos de rendimiento similares a los que pueden observarse después de una intervención de entrenamiento aeróbico de resistencia continuo. Sin embargo, las mejoras de rendimiento observadas en las pruebas contrarreloj de 20 min en ascenso o llano, demuestran adaptaciones específicas en respuesta a las sesiones de entrenamiento intervalado y apoyan la validez ecológica de las pruebas contrarreloj. La magnitud de estas mejoras sugiere que la aplicación de mayores fuerzas de pedaleo a través de una cadencia baja proporciona un estímulo de entrenamiento potencialmente superior con un efecto cruzado con las pruebas contrarreloj realizadas en el llano. Los intervalos de alta cadencia en el llano probablemente aumentan la producción de potencia en las pruebas contrarreloj en el llano pero no tienen un efecto cruzado con las pruebas contrarreloj realizadas en ascenso. Cuando se evalúan los datos de producción de potencia o se prescriben zonas de entrenamiento, es importante destacar que los ciclistas entrenados pueden producir producciones de potencia más altas durante las pruebas contrarreloj en ascenso en comparación con las realizadas en el llano.

Agradecimientos

Los autores agradecen el compromiso de los participantes del estudio. Esta investigación no fue patrocinada por ningún fondo externo a la Universidad de Exeter. Los autores declaran que no poseen conflictos de interés.

REFERENCIAS

1. Aughey RJ, Murphy KT, Clark SA, Garnham AP, Snow RJ, Cameron-Smith D, Hawley JA, McKenna MJ (2007). Muscle Na⁺ -K⁺ -ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *J Appl Physiol* 103(1):39-17
2. Balmer J, Davison RC, Bird SR (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16,1-km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32(8): 1485-1490
3. Banister EW, Calvert TW (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Can J Appl Sport Sci* 5(3): 170-176
4. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60(6):2020-2027
5. Bertucci W, Grappe F, Girard A, Betik A, Rouillon JD (2005). Effects on the crank torque profile when changing pedalling cadence in level ground and uphill road cycling. *J Biomech* 38(5): 1003-1010
6. Billat LV (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. Sports Med* 31(1):13-31
7. Borg G (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2(2):92-98
8. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* 98(6): 1985-1990
9. Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol* 100(6):2041-2047
10. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, Gibala MJ (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 586(1): 151-160
11. Cohen J (1988). The concepts of power analysis. In: *Statistical power analysis for the behavioural sciences, 2nd edn. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale*, pp 8-14
12. Duncan GE, Howley ET, Johnson BN (1997). Applicability of V02max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc* 29(2):273-278
13. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, Dodge C (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15(1): 109-115
14. Fregly BJ, Zajac FE, Dairaghi CA (2000). Bicycle drive system dynamics: theory and experimental validation. *J Biomech Eng* 122(4):446-452
15. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 39(5):822-829
16. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S, Tarnopolsky MA (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575(3):901-911

17. Hansen EA, Jorgensen LV, Jensen K, Fregly BJ, Sjogaard G (2002). Crank inertial load affects freely chosen pedal rate during cycling. *J Biomech* 35(2):277-285
18. Harriss DJ, Atkinson G (2009). International Journal of Sports Medicine ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med* 30(10):701-702
19. Howley ET, Bassett DR, Welch HG (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27(9):1292-1301
20. Jobson SA, Nevill AM, George SR, Jeukendrup AE, Passfield L (2008a). Influence of body position when considering the ecological validity of laboratory time-trial cycling performance. *J Sports Sci* 26(12): 1269-1278
21. Jobson SA, Woodside J, Passfield L, Nevill AM (2008b). Allometric scaling of uphill cycling performance. *Int J Sports Med* 29(9):753-757
22. Jobson SA, Passfield L, Atkinson G, Barton G, Scarf P (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Med* 39(10):833-844
23. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 6(4): 197-201
24. Lafortuna CL, Marinone PG, Ottolini S, Sartorio A (2003). GH responses to a near-maximal exercise training session on-the-field in cyclists. *J Endocrinol Invest* 26(8): 12-14
25. Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schomer HH, Noakes TD, Dennis SC (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 28(11):1427-1434
26. Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL (2001). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Med Sci Sports Exerc* 33(8):1361-1366
27. Lucia A, San Juan AF, Montilla M, CaNete S, Santalla A, Earnest C, Pérez M (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Med Sci Sports Exerc* 36(6): 1048-1054
28. Nimmerichter A, Williams C, Bachl N, Eston R (2010). Evaluation of a field test to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 31(3): 160-166
29. Nimmerichter A, Eston R, Bachl N, Williams C (2011). Longitudinal monitoring of power output and heart rate profiles in elite cyclists. *J Sports Sci (in press)*.
30. Padilla S, Mujika I, Orbananos J, Ángulo F (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 32(4):850-856
31. Paton CD, Hopkins WG, Cook C (2009). Effects of low- vs. high-cadence interval training on cycling performance. *J Strength Cond Res* 23(6): 1758-1763
32. Sargeant AJ (1994). Human power output and muscle fatigue. *Int J Sports Med* 15(3): 116-121
33. Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 31(5):736-741
34. Stepto NK, Martin DT, Fallón KE, Hawley JA (2001). Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33(2):303-310
35. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 8(1):73-80
36. Vercruyssen F, Brisswalter J (2010). Which factors determine the freely chosen cadence during submaximal cycling? *J Sci Med Sport* 13(2): 225-231
37. Vercruyssen F, Suriano R, Bishop D, Hausswirth C, Brisswalter J (2005). Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *Br J Sports Med* 39(5):267-272
38. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ (1999). Physiology of exercise. In: *Principles of exercise testing and interpretation, 3rd edn. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 30-32*
39. Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75(4):298-304
40. Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75(1):7-13
41. Wooles A, Robinson A, Keen P (2005). A static method for obtaining a calibration factor for SRM bicycle power cranks. *Sports Eng* 8(3):137-144

Cita Original

Alfred Nimmerichter, Roger Eston, Norbert Bachl and Craig Williams. Effects of low and high cadence interval training on power output in flat and uphill cycling time-trials. *Eur J Appl Physiol*. 112:69-78. (2012)