Monograph

El Entrenamiento Fraccionado de Alta Intensidad Mejora el Rendimiento en Pruebas Contra Reloj de 40km en Ciclistas Competitivos

Amy M Taylor-Manson¹

¹Kinetic Edge Cycling, Box 25941, Auckland, New Zealand.

RESUMEN

El entrenamiento fraccionado realizado con las altas cadencias específicas de la carrera mejora el rendimiento de ciclismo, pero existe evidencia de que la adición de una resistencia para reducir la cadencia podría ser más efectiva. *Objetivos:* Determinar los efectos del entrenamiento fraccionado utilizando grandes resistencias, sobre el rendimiento de ciclistas varones durante la fase competitiva de la temporada. *Métodos:* Utilizando un diseño aleatorio y controlado, los 10 ciclistas del grupo control mantuvieron sus tipos de entrenamiento y competición mientras que los 12 ciclistas del grupo experimental reemplazaron parte de su entrenamiento habitual con entrenamientos fraccionados utilizando altas resistencias, dos veces por semana durante 8 semanas. Antes y después del entrenamiento se midió la potencia media en una prueba contra reloj simulada de 40 km, el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx), el pico de potencia, la composición corporal y la fuerza de las piernas. Resultados: En relación con el entrenamiento de control, el entrenamiento experimental mostró claros efectos beneficiosos respecto de la potencia media en la prueba de 40 km (7.6%, intervalo de confianza del 90% ± 5.0%). También se observaron claros beneficios respecto del pico de potencia (3.5%, ± 4.2%), del VO₂máx en mL/kg/min (6.6%, ± 7.0%) y sobre la suma de 8 pliegues cutáneos (- 12%, ± 11%). Los efectos sobre la masa corporal (- 1.6%, ± 1.9%) y el área de sección cruzada del muslo (0.6%, ± 2.7%), posiblemente fueron triviales. Los efectos sobre el VO₂máx en L/min y sobre tres mediciones de la fuerza isocinética de las piernas fueron poco claros, probablemente debido a los grandes errores de medición. *Conclusiones:* El entrenamiento fraccionado utilizando altas resistencias provoca mayores mejoras en la potencia de los atletas que se encuentran en el período competitivo. Los beneficios de esta forma de entrenamiento deberían transferirse al rendimiento competitivo.

Palabras Clave: resistencia, VO₂, fuerza

INTRODUCCION

En una revisión publicada en Sports Science en el año 2004, Paton y Hopkins (2004) resumieron las evidencias relacionadas con los beneficios de diferentes formas de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad y de entrenamientos

fraccionados sobre el rendimiento de resistencia en atletas competitivos. Aunque las ganancias en la producción de potencia eran en promedio de hasta el 8%, “todos los estudios, excepto uno, fueron llevados a cabo durante los períodos no competitivos de los atletas, durante el cual se realizan pocos o ningún trabajos de alta intensidad”. Estos investigadores sugirieron que las ganancias probablemente serían menores si el entrenamiento de alta intensidad se hubiera realizado durante la fase competitiva, cuando los atletas normalmente incluyen estos tipos de trabajos en sus programas de entrenamiento. En efecto, en el único estudio llevado a cabo durante la fase competitiva de la temporada (Toussaint and Vervoorn, 1990), el entrenamiento de sobrecarga específico del deporte mejoró el rendimiento de nadadores en pruebas cronometradas en una cantidad equivalente a una producción de potencia útil pero pequeña de ~ 2%. En un estudio de seguimiento, Paton y Hopkins (2005) observaron mejoras del 6-9% en diferentes mediciones de la potencia aeróbica. Evidentemente, ciertas formas de entrenamiento de sobrecarga pueden ser efectivas, incluso durante la fase competitiva.

Personalmente, también tenía interés en los beneficios del entrenamiento de sobrecarga para el rendimiento de resistencia y coincidentemente llevé a cabo un estudio con ciclistas en la misma temporada competitiva en la cual Paton y Hopkins realizaron su estudio. Los resultados de este estudio son la base de este artículo.

MÉTODOS

Sujetos

Veinticuatro ciclistas varones bien entrenados fueron reclutados en los clubes de ciclismo de Auckland. Todos los sujetos dieron su consentimiento por escrito de acuerdo con lo requerido por el Comité de Ética para el uso de Sujetos Humanos de la Universidad de Auckland. Todos los sujetos que participaron en el estudio se encontraban en el período competitivo de su entrenamiento y estaban libres de lesiones y/o enfermedades. En la Tabla 1 se proporciona una descripción de los sujetos.

Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a un grupo experimental que realizó entrenamientos fraccionados de alta intensidad con sobrecarga o a un grupo control que continuó con su entrenamiento habitual. Dos de los sujetos del grupo control abandonaron el estudio antes de la finalización del mismo. Los sujetos del grupo experimental realizaron ocho semanas de entrenamiento fraccionado de alta intensidad con sobrecarga dos veces por semana además de su entrenamiento habitual de resistencia de baja intensidad. El grupo control continuó con su programa habitual de entrenamiento el cual era una combinación de entrenamientos de alta intensidad a velocidad de carrera y entrenamientos de resistencia de baja intensidad. Todos los sujetos fueron provistos con diarios de entrenamiento que debieron completar durante las cuatro semanas previas y durante las ocho semanas del período experimental. Todos los sujetos llevaron a cabo los protocolos de evaluación 4-10 días luego de la finalización del período experimental.

Mediciones Experimentales

Previamente a la evaluación, los sujetos fueron instruidos para que se abstuvieran de realizar entrenamientos de alta intensidad, de consumir cafeína y alcohol en las 24 horas previas y para que mantuvieran su dieta habitual. Esta investigación cuenta con un diseño de evaluaciones pre y post entrenamiento, por lo cual los siguientes procedimientos fueron llevados a cabo dentro de un período de una semana pre entrenamiento y una semana post entrenamiento. Todos los procedimientos de evaluación permitieron un mínimo de 48 hs de recuperación entre los tests. En la primera visita al laboratorio, los sujetos fueron pesados y se obtuvieron las mediciones de ocho pliegues cutáneos utilizando un calibre para pliegues cutáneos (Holtain, UK). La potencia aeróbica máxima (VO_2 máx) fue medida utilizando un protocolo progresivo (en rampa) durante el cual los sujetos utilizaron sus propias bicicletas de carreras que fueron montadas en un ergómetro Kingcycle (KingCycle, High Wycombe, UK) calibrado antes de cada test. Los tests comenzaron con una carga inicial de 100 W que fue incrementada en 33 W a cada minuto hasta el agotamiento volitivo. El VO_2 fue medido mediante el análisis de los gases espirados (AMETEK OCM-2, Thermox Instruments, Pittsburgh Pa). El VO_2 fue promediado a intervalos de 20 segundos. Un computador en interfase con el ergómetro Kingcycle registró la potencia durante toda la prueba, con el pico de potencia definido como la mayor media de potencia registrada en cualquier intervalo de 60 segundos del test progresivo.

	Experimental (n=12)	Control (n = 10)
Edad (años)	30 ± 8	32 ± 3
Talla (m)	1.8 ± 0.0	1.8 ± 0.1
Masa Corporal (kg)	78 ± 4	79 ± 14
Experiencia en Ciclismo (años)	10.6 ± 6.3	11.2 ± 5.4
Entrenamientos por semana (hs)	11.8 ± 4.3	11.0 ± 4.7
Suma de 8 plieques cutáneos (mm)	87 ± 36	87 ± 36
Area de sección cruzada del muslo medio (cm ²)	213 ± 19	209 ± 37
VO ₂ máx (L/min)	4.8 ± 0.4	4.8 ± 0.5
VO ₂ máx (mL/kg/min)	61.4 ± 6.0	62.2 ± 8.5
Potencia Pico (W)	469 ± 33	472 ± 72
Tiempo en 40 km (min)	54.0 ± 2.2	54.1 ± 3.2
Potencia Media en 40 km (W)	317 ± 32	317 ± 52
Torque pico a 180°/s	266 ± 25	239 ± 49
Torque pico a 270°/s	233 ± 26	213 ± 44
Torque pico a 360°/s	205 ± 26	185 ± 32

Tabla 1. Características de los sujetos, incluyendo el rendimiento de base y las mediciones antropométricas para el grupo control y experimental. Los datos son medias ± desviación estándar. VO₂máx = consumo máximo de oxígeno.

La fuerza concéntrica de los glúteos y los cuádriceps fue medida 30 minutos después del test de VO₂máx utilizando un dinamómetro isocinético Biodex. Los ángulos de las caderas y las rodillas de los sujetos fueron seleccionados de manera tal que simularan los ángulos observados con la posición de punto muerto superior del pedal o el comienzo de la fase de potencia del pedaleo tal como lo describieran Faria y Cavanaugh (1978). El movimiento implicó la extensión de la cadera y la rodilla hasta la posición de punto muerto inferior del pedal o el punto previo a la completa extensión de la rodilla. Se realizaron repeticiones máximas a velocidades isocinéticas de 180, 270 y 360°/s (3.1, 4.7 y 6.3 radianes/s) y se registró el torque pico definido como el mayor valor obtenido en cinco repeticiones. Estas velocidades son equivalentes a 30, 45 y 60 revoluciones/minuto en la bicicleta, lo cual representa el rango de cadencias utilizadas en el entrenamiento fraccionado de alta intensidad con sobrecarga.

En una segunda visita al laboratorio, los sujetos realizaron la prueba contra reloj de 40 km también sobre el ergómetro Kingcycle. Para asegurar que los sujetos dieran su máximo esfuerzo fueron informados que recibirían recompensas financieras si completaban la prueba a o por encima del 70% de su pico de potencia individual medido en la primera visita al laboratorio y además que post intervención, recibirían incentivos basados en la mejora obtenida. Durante la prueba se les permitió a los sujetos consumir fluidos *ad libitum*.

Entrenamiento

Los ciclistas pertenecientes al grupo experimental realizaron sesiones de entrenamiento fraccionado de alta intensidad con sobrecarga dos veces por semana en el laboratorio, durante las cuales se realizaron intervalos de ciclismo a una cadencia baja (40-80 revoluciones por minuto) tal como lo sugiriera Polishuk (1994). Todas las sesiones de entrenamiento fraccionado fueron supervisadas por el investigador principal. Las sesiones consistieron de 5-6 repeticiones de 3 a 22 minutos, y la duración total de la sesión se incrementó progresivamente desde 25 minutos en la semana 1 a 55 minutos en la semana 8. Los períodos de recuperación entre las series de trabajo estuvieron en el rango de los 1 a 5 minutos. La cadencia fue establecida mediante el uso de un metrónomo. Los sujetos pedalearon a la cadencia establecida utilizando la mayor multiplicación de sus bicicletas y una carga graduada en los simuladores para mantener la mayor producción de potencia para la cadencia. La frecuencia cardíaca máxima y la frecuencia cardíaca promedio fueron registradas utilizando monitores específicos (Polar, Kempele, Finland). La producción de potencia en Watts fue registrada manualmente de los simuladores Cateye a cada minuto durante las series de trabajo. Debido a las pequeñas pero consistentes diferencias en los ergómetros (Cateye y Kingcycle), la producción de potencia fue recalculada para dar una aproximación de la producción de potencia en el ergómetro Kingcycle a partir de ecuaciones de regresión desarrolladas durante un estudio piloto.

Análisis Estadísticos

Cada variable dependiente fue analizada utilizando una hoja de cálculo publicada que utiliza la transformación log para estimar el efecto del entrenamiento como la diferencia en el porcentaje medio de cambio entre los grupos experimental y control (Hopkins, 2003). Cada hoja de cálculo provee una precisión de estimación dentro de un intervalo de confianza del

90% conjuntamente con la probabilidad de que el efecto verdadero fuera prácticamente beneficioso o perjudicial. Para el cálculo de la probabilidad de que el efecto fuera beneficioso o perjudicial, se ingresaron los siguientes valores del menor efecto favorable para cada variable: 1.5% y 0.65% para la potencia media y el tiempo respectivamente, en la prueba de 40 km (Paton and Hopkins, 2006), 1.5% para la potencia pico, VO_2 máx, y cociente potencia/peso (bajo la presunción de que los cambios en estas variables están directamente relacionados con los cambios en la potencia media durante una prueba contra reloj); y una diferencia media estandarizada de 0.20 para todas las otras variables (Hopkins, 2003). Se realizaron inferencias prácticas utilizando la aproximación descrita en *Sportsciences* (Batterham and Hopkins, 2005). Brevemente, si las probabilidades de que el efecto fuera beneficioso o perjudicial son ambas >5%, el efecto verdadero se clasifica como inconsistente (podría ser beneficioso o perjudicial). De otra manera, la probabilidad cuantitativa de que el efecto fuera beneficioso o perjudicial fue valorada cualitativamente como sigue: <1%, casi ciertamente no, 1-5%, muy improbable, 5-25% improbable, 25-75% posible, 75-95% muy probable, >99% casi cierto. Cada hoja de cálculo también calculó la desviación estándar que representa las respuestas individuales al tratamiento (la variación característica alrededor del efecto medio de sujeto a sujeto) y otra desviación estándar que representa el error de medición característico en el grupo control entre los tests pre y post entrenamiento.

RESULTADOS

En el presente estudio se observó poca diferencia en los valores medios de las características de los sujetos y del rendimiento de base entre los grupos (Tabla 1). El efecto principal de la intervención experimental fue una substancial mejora en el rendimiento durante la prueba contra reloj de 40 km, debido principalmente a una mejora en el grupo experimental y a una relativamente pequeña desmejora en el grupo control (Tabla 2). El efecto neto sobre el VO_2 máx fue de magnitud similar cuando se expresó en forma relativa a la masa corporal pero algo menor e inconsistente cuando se expresó en unidades absolutas. En comparación con el grupo control, el grupo experimental también experimentó una reducción substancial en el grosor de los pliegues cutáneos, pero los cambios en la masa corporal y en el área de sección cruzada del muslo medio probablemente fueron más triviales. Las evaluaciones isocinéticas también produjeron resultados poco claros.

Los errores estándar de medición para el grupo control entre los tests pre y post entrenamiento fueron: para el tiempo en la prueba contra reloj de 40 km, 1.7%; para la potencia media en la prueba contra reloj de 40 km, 4.3%; para la potencia pico, 4.8%; para el VO_2 máx (mL/kg/min), 7.7%; para el VO_2 máx (L/min), 7.5%; para la masa corporal, 1.8%; para la suma de 8 pliegues cutáneos, 11%; para el área de sección cruzada del muslo medio, 2.3% y para el torque pico, 8-11%. Los límites de confianza del 90% para los valores verdaderos del error de medición fueron ± 1.5 para todas las mediciones.

Las desviaciones estándar que representan las respuestas individuales mostraron una gran incertidumbre como para realizar conclusiones firmes; por ejemplo, el valor para la potencia media en la prueba contra reloj de 40 km fue de 4.4%, pero los límites de confianza del 90% fueron -5.2% a 8.4%. Aproximadamente la mitad de las mediciones tuvieron desviaciones estándar negativas para las respuestas individuales (debido a la mayor variación en los cambios en el grupo control), pero los límites de confianza sugirieron la posibilidad de una real respuesta individual substancial.

	Cambio en la Medición (%)			Inferencia práctica ^a
	Experimental media ± DE	Control media ± DE	Diferencia; ± 90% LC	
Mediciones del Rendimiento				
Potencia media en la prueba contra reloj de 40 km	6.4 ± 7.7	-1.1 ± 6.2	7.6; ±5.0	Muy probablemente beneficioso
Tiempo en la prueba contra reloj de 40 km	-2.3 ± 2.9	0.6 ± 2.5	-2.9; ±2.0	Muy probablemente beneficioso
Pico de potencia ^b	6.1 ± 3.3	4.1 ± 5.1	2.0; ±3.5	Posiblemente beneficioso
Mediciones Antropométricas y Fisiológicas				
VO ₂ máx (L/min)	3.8 ± 6.1	-0.6 ± 10.8	4.4; ±6.7	Poco claro
VO ₂ máx (mL/kg/min)	4.6 ± 6.8	-1.9 ± 11.1	6.6; ±7.0	Posiblemente beneficioso
Masa corporal	-0.8 ± 2.6	0.8 ± 2.5	-1.6; ±1.9	Posiblemente Trivial
Suma de 8 pliegues cutáneos	-8 ± 14	5 ± 16	-12; ±11	Posiblemente beneficioso
Área de sección cruzada del muslo medio	2.4 ± 4.2	1.8 ± 3.3	0.6; ±2.7	Posiblemente trivial
Torque pico a 180°/s	-2 ± 15	2 ± 13	-4; ±10	Poco claro
Torque pico a 270°/s	1 ± 12	-1 ± 16	1 ±11	Poco claro
Torque pico a 360°/s	1 ± 15	1 ± 13	0; ±10	Poco claro

Tabla 2. Efectos de 8 semanas de entrenamiento fraccionado de alta intensidad con sobrecarga sobre el rendimiento en ciclismo y en los parámetros fisiológicos y antropométricos. ± 90% LC = adicionar o sustraer este número al efecto medio para obtener los límites de confianza del 90% para la diferencia verdadera. ^aEn base a los siguientes valores del menor cambio significativo: 1.5% en la potencia media para la prueba de 40 km, pico de potencia al VO₂máx, VO₂máx y cociente potencia/peso; 0.65% para el tiempo respectivamente en la prueba de 40 km; diferencia media estandarizada de 0.20 para todas las otras mediciones. ^bDatos obtenidos luego de eliminar los datos de uno de los sujetos de control que exhibió una reducción en el rendimiento del 10% en el test post entrenamiento.

DISCUSION

El principal hallazgo de esta investigación fue que ocho semanas de entrenamiento fraccionado de alta intensidad con sobrecarga a una cadencia baja provocó una mejora en la potencia media durante la prueba contra reloj de 40 km de aproximadamente un 8% en ciclistas bien entrenados. Además estas mejoras ocurrieron durante el período competitivo de la temporada de ciclismo, cuando los ciclistas ya estaban entrenando y compitiendo a alta intensidad. Cuando se tuvieron en cuenta las incertezas en todas las estimaciones, esta mejora, y las mejoras en el pico de potencia y en el VO₂máx son similares a las observadas en la mayoría de los estudios previos de entrenamiento fraccionado de alta intensidad y entrenamiento de sobrecarga.

La principal diferencia entre el presente estudio y la mayoría de los estudios previos es que las mejoras en el presente estudio ocurrieron durante el período competitivo, cuando los atletas ya estaban entrenando y compitiendo a alta intensidad. Puesto que el menor incremento significativo en el rendimiento para una prueba contra reloj de ciclismo es ~1.5 (Paton and Hopkins, 2006), las ganancias observadas en el presente estudio representan mejoras significativas. Solo otros dos estudios publicados acerca del entrenamiento de alta intensidad en atletas de resistencia se han llevado a cabo durante el período competitivo. Las mejoras en el presente estudio fueron ~2% mayores a las observadas en un estudio llevado a cabo con nadadores (Toussaint and Vervoorn, 1990), posiblemente debido a que el entrenamiento con una baja cadencia que se pudo realizar con los ciclistas fue más efectiva que el protocolo diseñado para los nadadores. El incremento en el pico de potencia en el presente estudio fue posiblemente menor que el 6% observado por Paton y Hopkins (2005) en ciclistas, pero los incrementos observados en tests de menor duración (8-9% en pruebas contra reloj de 1 y 4 km) fueron similares a los observados en la prueba de 40 km en el presente estudio. En el estudio de Paton y Hopkins (2005) las series fueron similares a las del presente estudio, pero estos investigadores incluyeron series de saltos balísticos. La contribución de los saltos a la mejora del rendimiento es poco clara.

Algunas de las mediciones del rendimiento en el presente estudio produjeron resultados poco claros. El problema parece

radicar en los relativamente grandes errores de medición de estas mediciones. Los errores para la potencia media en la prueba de 40 km, en el $\text{VO}_2\text{máx}$ y en el pico de potencia fueron dos veces más grandes que los reportados en algunos estudios referentes a la confiabilidad (Hopkins et al., 2001). Los errores en el presente estudio probablemente reflejan la real variación individual en el rendimiento de los ciclistas del grupo control durante el período experimental del estudio. Probablemente también hubo una substancial contribución de errores técnicos (del equipamiento) al inaceptablemente grande error de medición del $\text{VO}_2\text{máx}$. En concordancia con Hopkins et al (2001) se puede mencionar que las mediciones derivadas de una ergometría isocinética son demasiado inconsistentes como para ser útiles para el seguimiento de los cambios en el rendimiento de los atletas.

Aunque en el presente estudio el propósito principal fue determinar el efecto del entrenamiento de sobrecarga sobre el rendimiento de resistencia, también se han medido diversas variables fisiológicas y antropométricas que potencialmente están relacionadas con los mecanismos del efecto. Es claro que el incremento en el $\text{VO}_2\text{máx}$ podría ser la principal razón del incremento en el rendimiento de resistencia, pero también se puede especular que hubo una mejora en la economía de pedaleo, ya que en esto ha sido observado en otros estudios acerca de los efectos del entrenamiento de sobrecarga sobre la resistencia (Paton and Hopkins, 2004). Otra posibilidad es la contribución de otro componente de la resistencia, la utilización fraccional del $\text{VO}_2\text{máx}$. Un incremento en la masa corporal puede ser perjudicial para los ciclistas cuando el recorrido incluye varios ascensos. El entrenamiento de sobrecarga puede incrementar la masa corporal al incrementar la masa muscular, pero el protocolo de entrenamiento utilizado en el presente estudio parece haber tenido poco efecto sobre la masa muscular del muslo, y el único cambio en la masa corporal fue trivial. La disminución en el grosor de los pliegues cutáneos es en principio beneficioso, pero solo si representa una pérdida substancial de la masa corporal. Si la reducción en el grosor de los pliegues cutáneos tuvo un efecto directo del entrenamiento de sobrecarga o un efecto indirecto del cambio en la dieta es algo que no puede establecerse con precisión.

REFERENCIAS

1. Batterham AM, Hopkins WG (2005). Making meaningful inferences about magnitudes. *Sportscience* 9, 6-12 (sportssci.org/jour/05/ambwgh.htm)
2. Faria IE, Cavanagh PR (1978). The physiology and biomechanics of cycling. *New York: Wiley*
3. Hopkins WG (2003). A spreadsheet for analysis of straightforward controlled trials. *Sportscience* 7, sportssci.org/jour/03/wghtrials.htm
4. Hopkins WG, Schabert EJ, Hawley JA (2001). Reliability of power in physical performance tests. *31*, 211-234
5. Paton CD, Hopkins WG (2004). Effects of high-intensity training on performance and physiology of endurance athletes. *Sportscience* 8, 25-40
6. Paton CD, Hopkins WG (2005). Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19, 826-830
7. Paton CD, Hopkins WG (2006). Variation in performance of elite cyclists from race to race. *European Journal of Sport Science* (in press)
8. Polishuk DA (1994). The means and methods of improving a cyclists strength potential. *Fitness & Sports Review International* 29, 84-88
9. Toussaint HM, Vervoorn K (1990). Effects of high resistance training in the water on competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine* 11, 228-233

Cita Original

Amy M Taylor-Mason. High-Resistance Interval Training Improves 40-km Time-Trial Performance in Competitive Cyclists. *Sportscience* 9, 27-31, 2005 (sportssci.org/jour/05/amt-m.htm)