PubliCE, (PubliCE) 1999

Monograph

Efectos de Diferentes Programas de Entrenamiento Intervalado sobre el Rendimiento en una Prueba Contrarreloj

Will G Hopkins[1], John A Hawley[1], Nigel K Stepto[1] y Steven C Dennis[1]

[1]*Department of Physiology, School of Medical Science, University of Otago, Nueva Zelanda.*

RESUMEN

Objetivo: Nosotros investigamos el efecto de variar la intensidad del entrenamiento intervalado sobre el rendimiento en una prueba contrarreloj de 40 km en 20 ciclistas entrenados en resistencia (consumo de oxígeno pico: 4,8±0,6 L/min). **Métodos**: Los ciclistas realizaron un test de esprint de 25 kJ, un test incremental para determinar la potencia aeróbica pico (PP) y una prueba simulada de contrarreloj de 40 km en un ergómetro Kingcycle. Los ciclistas fueron asignados aleatoriamente a uno de 5 tipos de sesiones de entrenamiento intervalado: 12 x 30 s al 175% de la PP, 12 x 60 s al 100% de la PP, 12 x 2 min al 90% de la PP, 8 x 4 min al 85% de la PP o 4 x 8 min al 80% de la PP. Los ciclistas completaron 6 sesiones durante 3 semanas, además del entrenamiento aeróbico de base que realizaban comúnmente. **Resultados**: Los rendimientos en la prueba contrarreloj fueron altamente reproducibles cuando se controlaron los efectos de entrenamiento (coeficiente de variación=1,1%). El incremento porcentual en la prueba contrarreloj fue modelado como una función polinomial de un orden de grado de la intensidad de los intervalos de entrenamiento, un procedimiento que ha sido validado por medio de simulación. La tendencia cúbica fue fuerte y estadísticamente significativa (correlación=0,70, p=0,005) y predijo el mayor incremento para el entrenamiento intevalado realizado al 85% de la PP (2,8%, CI 95%=4,3-1,3%) y al 175% de la PP (2,4%, CI 95%=4,0-0,7%). Los entrenamientos realizados al 100 y 80% de la PP no produjeron mejorías estadísticamente significativas del rendimiento. Las tendencias cuadráticas o lineales fueron débiles o insustanciales. **Conclusiones:** El entrenamiento intervalado realizado con series de trabajo cercanas al ritmo de carrera mejoran el rendimiento de resistencia de 1 h; las series de trabajo a intensidades mucho más altas también parece mejorar el rendimiento, posiblemente a través de mecanismo diferentes.

Palabras Clave: respuesta a la dosis, atletas de resistencia, modelado, polinomial, especificidad

INTRODUCCION

La literatura científica acerca de los efectos particulares de intervenciones de entrenamiento específicas sobre el rendimiento en individuos bien entrenados es escasa. En la actualidad, los científicos del deporte han encontrado difícil persuadir a los atletas competitivos altamente entrenados para que experimenten con sus programas de entrenamiento normales. Debido a la escasez de datos en esta área, hemos llevado a cabo recientemente una serie de investigaciones acerca de los efectos del entrenamiento intervalado sobre el rendimiento de ciclistas competitivos de resistencia (8, 12, 16,

17). Estos estudios han empleado la misma intervención de entrenamiento, a saber, reemplazar una parte (15%) del entrenamiento aeróbico de base del atleta con series de trabajo (5 min) sostenido de alta intensidad [90% del máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.)] (para una revisión ver referencias 6, 8). En el presente estudio, hemos expandido nuestros trabajos anteriores investigando el efecto de series de trabajo de diferentes duraciones e intensidades en un intento de identificar el mejor estímulo de entrenamiento para mejorar el rendimiento del ejercicio de resistencia.

El enfoque convencional para investigar la respuesta a diferentes dosis de un tratamiento es realizar un estudio de mediciones repetidas en el cual cada sujeto recibe todas las diferentes dosis. Los datos son luego analizados modelando tendencias en la respuesta a las diferentes dosis con polinomios (lineales, cuadráticos, etc.) o con otras funciones matemáticas apropiadas para la dosis (10). La curva resultante del mejor ajuste permite predecir una respuesta máxima y mínima, la dosis que produce estas respuestas, el intervalo de dosis que genera respuestas substanciales o significativas, entre otros resultados. Desafortunadamente, este enfoque es impráctico para estudios acerca de entrenamiento atlético, debido a que los efectos de larga duración de una dada dosis de entrenamiento impiden que los sujetos reciban más de una dosis de tratamiento. La única solución es conducir una serie de estudios, cada uno con una dosis de entrenamiento diferente y un grupo diferente de sujetos. La dosis de entrenamiento que produce la mayor respuesta, por ejemplo, podría luego ser luego identificada realizando una serie de comparaciones de a pares entre las dosis. Sin embargo, un enfoque nuevo y potencialmente más poderoso sería adaptar la estrategia recomendada por Holbert et al. (10), ajustando las respuestas para cada dosis mediante polinomios u otras curvas. Nosotros hemos usado este enfoque en el presente estudio.

METODOS

para esta investigación fueron reclutados veinte ciclistas entrenados en resistencia de nivel provincial, la cual fue aprobada por el Comité de Ética e Investigación de la Universidad de la Escuela Médica de Cape Town. Todos los ciclistas habían sido previamente evaluados en el laboratorio y fueron completamente informados acerca de la naturaleza de la investigación antes de firmar los formularios de consentimiento. Los ciclistas habían estado entrenando y compitiendo en carreras de ciclismo de resistencia en una base regular por un mínimo de 3 años, y ninguno había realizado ningún tipo de entrenamiento intervalado en los 3-4 meses precedentes al estudio.

La Figura 1 muestra el cronograma de las evaluaciones iniciales, el programa de entrenamiento y la evaluación post-intervención. Cada serie de pruebas de laboratorio fue conducida en dos ocasiones en el mismo momento del día separadas por 3 días. Dos días después de completar la sesión de entrenamiento final, cada ciclista repitió la misma serie de pruebas.

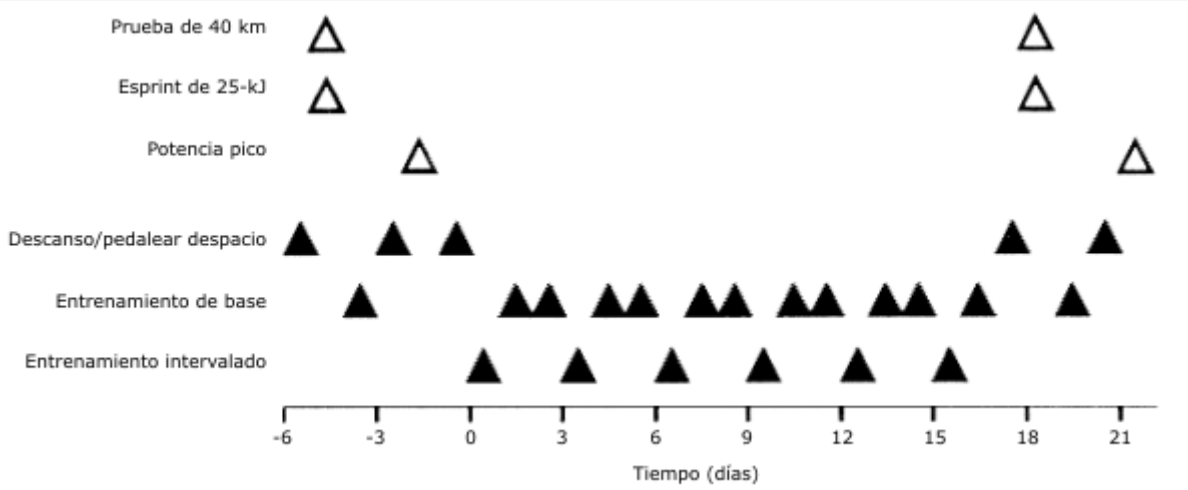

***Figura 1**. Horarios de las pruebas de laboratorio y las sesiones de entrenamiento.*

Régimen de Evaluación

Los ciclistas no realizaron entrenamiento intenso y consumieron una dieta normal durante las 24 horas precedentes a cada visita al laboratorio. Una vez que llegaban al laboratorio, se determinaba el peso corporal de los ciclistas con un nivel de apreciación de 0,1 kg, mientras los ciclistas utilizaban su calza de ciclismo, en una balanza de precisión Seca (Modelo 770, Bonn, Alemania). La masa corporal fue usada para determinar la tasa de trabajo inicial en los tests de rendimiento que serán subsiguientemente descritos. El grosor de los pliegues cutáneos de los sitios bíceps, tríceps, subescapular y suprailíaco fueron usados para estimar el porcentaje de grasa corporal (14).

Cada ciclista realizó luego un test de esprint de 25 kJ en una bicicleta ergométrica frenada electrónicamente (Lode, Gronigen, Holanda), modificada con pedales automáticos, y un asiento y un manillar para ciclismo. Antes de cada test, la altura del asiento y la posición del manillar eran ajustadas en el ergómetro según los requerimientos del sujeto, y el ciclista realizaba la entrada en calor con una intensidad y duración seleccionada por el mismo. La cantidad de trabajo realizado en la primera entrada en calor fue registrada y repetida antes de los tests de ejercicio subsiguientes. Luego de la entrada en calor, el sujeto completaba un esprint de 25 kJ “tan rápido como fuera posible”. Una vuelta a la calma corta era seguida de 30 minutos de descanso total, durante el cual el ciclista permanecía tranquilamente sentado. Cada ciclista realizaba luego una prueba contrarreloj simulada de 40 km en su propia bicicleta de competición, la cual era montada en un ergómetro frenado por aire (Kingcycle Ltd. High Wycombe, Buckinghamshire, Reino Unido). La bicicleta estaba unida al ergómetro a través de la horquilla delantera y apoyada en una columna ajustable a través de su soporte trasero. El apoyo del soporte trasero fue usado para ajustar la resistencia al rodamiento de la rueda trasera a través de una rueda frenada por aire. Los procedimientos de calibración del ergómetro Kingcyle han sido previamente descritos en detalle (15).

Luego de que el ergómetro Kingcycle era calibrado, el ciclista comenzaba con una entrada en calor de 5 min a una intensidad de ejercicio seleccionada por el mismo, la cual fue replicada para todas las pruebas contrarreloj subsiguientes. Los ciclistas realizaron la prueba contrarreloj “tan rápido como fuera posible”, y la única retroalimentación que recibían era el tiempo transcurrido. El coeficiente de variación (CV) del tiempo que le toma a un ciclista completar una prueba contrarreloj es de 1% (15).

Tres días después, cada ciclista regresaba al laboratorio y realizaba un test de ejercicio incremental hasta el agotamiento en la bicicleta ergométrica Lode, tal como ha sido previamente descrito (9). Brevemente, este test comenzaba con una carga inicial de 3,3 W/kg. Esta carga era mantenida por 150 s, y luego incrementada en 50W, y luego en 25W cada 150 s hasta que el ciclista se agotaba. El agotamiento fue definido como una caída en la tasa de pedaleo > 10 rev./min y/o un aumento en el índice de intercambio respiratorio (RER) > 1,1. La producción de potencia pico sostenida (PP) fue definida como la tasa de trabajo completada en W más la fracción de tiempo de la última etapa no completada multiplicada por 25 W.

Durante el test incremental hasta el agotamiento, el ciclista respiraba en una máscara naso-oral conectada a un analizador automático de gases (Model Alpha, Oxycon Ltd., Mijhardt, Holanda). Antes de cada test, el analizador era calibrado con una jeringa Hans Rudolph de 3 L, aire de la habitación y una mezcla de gases con una composición de 5% de CO_2 y 95% de N_2. Los datos registrados por el analizador fueron procesados por una computadora, que calculaba la ventilación (V_E), el consumo de oxígeno (VO_2) y la espiración de CO_2 (VCO_2) para cada respiración, usando ecuaciones convencionales. El VO_2 pico fue tomado como el promedio del mayor VO_2 medido durante los últimos 30 s del test.

La PP fue usada para determinar la tasa de trabajo para dos pasadas submáximas en estado estable, que consistían de 10 min al 50, 60, 70, y 80% de la PP. Durante los 5 min finales de cada tasa de trabajo, el aire espirado era muestreado y eran estimadas las tasas de oxidación de carbohidratos a partir de las ecuaciones de Frayn (5), asumiendo un RER no proteico. En los últimos 60 s de cada serie de trabajo, fueron recolectadas muestras sanguíneas (3 mL) mediante una cánula calibre 20, insertada en una vena del antebrazo y adherida a una válvula de 3 vías. Cada muestra sanguínea fue colocada en un tubo que contenía oxalato de potasio y fluoruro de sodio y fue almacenada en hielo hasta el final del test. Los tubos fueron luego centrifugados a 2500 x g durante 10 min a 4 °C y los sobrenadantes fueron almacenados a -20°C para las mediciones subsiguientes de concentración de lactato plasmático mediante un análisis espectrofotométrico enzimático (Model 35, Beckman Instruments Inc., Fullerton, CA).

Durante el test máximo incremental y las pasadas en estado estable, fue registrada la frecuencia cardíaca (HR) y estos datos fueron almacenados en un monitor Sports (Polar Electro OY, Kempele, Finlandia). El monitor consistía de una cinta con un electrodo adherida al pecho, un transmisor y un receptor montado en la cintura. El receptor registraba la FC momentánea a intervalos de 5 s durante el test incremental y a intervalos de 15 s durante las pasadas en estado estable.

Intervenciones de Entrenamiento

Luego de las evaluaciones preliminares, los ciclistas fueron asignados de un modo aleatorio a uno de cinco protocolos de entrenamiento intervalado. Cada ciclista realizó un total de seis sesiones de entrenamiento intervalado a través de un período de 3 semanas (Figura 1). Todas las sesiones de entrenamiento de laboratorio fueron supervisadas por el mismo

investigador y realizadas en la misma bicicleta ergométrica bajo condiciones ambientales estándar (temperatura ambiente 20-22 °C, humedad relativa 55-60%). Los detalles específicos de los índices trabajo/pausa y la intensidad de cada intervención de entrenamiento diferente son proporcionados en la Tabla 1. Cada sesión de entrenamiento de laboratorio duraba 60 min. Los protocolos de entrenamiento fueron diseñados consultando a los entrenadores, ciclistas y científicos del deporte para que representaran sesiones de entrenamiento que desearan llevar a cabo ciclistas bien entrenados durante la preparación para una competición. La cantidad de trabajo realizado en cada sesión de entrenamiento intervalado no pudo ser estandarizada debido a que el trabajo no es una función lineal respecto de la intensidad de ejercicio: los ciclistas pueden pedalear 2 h al 75% de PP (7), pero pueden pedalear solo durante 1 min al 150% de PP (11).

Grupo de Entrenamiento	Número de Serie de Trabajo	Duración de las Series de Entrenamiento (min)	Intensidad (% PP)	Pausa (min)
1	12	0,5	175	4,5
2	12	1,0	100	4
3	12	2,0	90	3,0
4	8	4,0	85	1,5
5	4	8,0	80	1,0

Tabla 1. *Resumen de los cinco protocolos de entrenamiento intervalado. PP: producción de potencia pico sostenida durante el test máximo. Durante la pausa, los sujetos pedaleaban a una tasa de trabajo de 100 W.*

A partir del inicio de la investigación, cada ciclista registró la distancia, duración y esfuerzo percibido del entrenamiento en un diario personal. Estos registros fueron usados subsiguientemente para calcular las distancias de entrenamiento de resistencia semanales que los ciclistas fueron capaces de realizar durante la investigación. Teniendo en cuenta que el objetivo de la presente investigación fue producir un ambiente de entrenamiento para los ciclistas (y sus entrenadores) que fuera “tan normal como fuera posible”, la única restricción para el entrenamiento realizado fuera de las sesiones de laboratorio controladas fue que, durante la duración del estudio, los ciclistas no realizaran ningún tipo de entrenamiento intervalado.

Análisis Estadísticos

Antes del estudio, realizamos simulaciones para determinar el tamaño de la muestra que daría intervalos de confianza aceptables para los términos de un polinomio ($y=a + b.x + c.x^2 + d.x^3 + ...$), e intervalos de confianza (CI) del 95% aceptables para los aumentos estimados para cada protocolo de entrenamiento. En estas simulaciones, el protocolo de entrenamiento era una variable que estaba entre -1 para el intervalo más corto (30 s) hasta +1 para el intervalo más largo (8 min). Estos valores para la variable del protocolo de entrenamiento simplificó la interpretación de los coeficientes de los polinomios. Los datos fueron generados de modo que no tuvieran efectos polinomiales reales, debido a que los datos sin efectos necesitan los mayores tamaños de muestra para definir la magnitud del efecto con una precisión aceptable. Con 20 sujetos, el coeficiente de variación para el rendimiento de un individuo fue de 1%, y para un modelo cuadrático, el CI 95% para los términos lineal (b) y cuadrático (c) fue ±0,9% y ±1,5%, respectivamente; con un modelo cúbico, el CI 95% fue ±2,7%, ±1,5% y ±3,0% para los términos lineal, cuadrático y cúbico (d), respectivamente. Estos números representan límites de confianza para la diferencia en el entrenamiento a la que contribuyó cada término del polinomio entre los atletas en el grupo medio (x=0) y los grupos extremos (x=1). De este modo, este CI parece ser razonablemente aceptable en el modelo cuadrático (el cual era el modelo que esperábamos usar), pero son bastante amplios para los términos lineal y cúbico del modélo cúbico (el cual nosotros no esperábamos que fuera aplicable). El CI 95% para las mejoras estimadas fue ±1,0% y ±1,4% para los grupos medios y extremos, respectivamente, con el modelo cuadrático y solo ligeramente más amplio (±1,0% y ±1,5%) con el modelo cúbico. Esto parece ser aceptable para ambos modelos.

Todos los datos de rendimiento fueron convertidos a cambios porcentuales por medio de una transformación log [(post-medición)/(pre-medición)] (11). Estos datos fueron modelados como funciones polinomiales de la intensidad ordenada en categorías de los protocolos de entrenamiento usando Proc Reg en la versión 6.12 del *Statistical Analysis System* (SAS Institute, Cary NC).

La calidad del ajuste de los polinomios fue expresada como un coeficiente de correlación general (r), calculado tomando la raíz cuadrada de la fracción de la varianza explicada por el modelo, luego de realizar el ajuste para los grados de libertad. Las correlaciones entre las mediciones de rendimiento en la primera prueba contrarreloj y entre los cambios en el rendimiento en la segunda prueba contrarreloj, fueron expresados como coeficientes de correlación de Pearson.

La confiabilidad en los test de ejercicio fue calculada a través de coeficientes de correlación intraclase y CV. Estos datos fueron derivados a través de mediciones repetidas de las variables transformadas a través del método log, siendo el protocolo de entrenamiento un efecto nominal (clasificación) entre sujetos. La confiabilidad calculada de este modo representa la confiabilidad del rendimiento bajo condiciones experimentales, luego de haber realizado un control de cualquier cambio en el rendimiento promedio en cada grupo experimental. Los análisis fueron realizados con Proc Mixed en SAS.

Los promedios y desvíos estándar son usados para todas las mediciones como mediciones de tendencia central y dispersión de los datos. El CI presentado para los resultados tiene un 95% de probabilidad de contener a la media poblacional. Las respuestas con un $p<0,05$ fueron clasificadas como estadísticamente significativas.

RESULTADOS

Los datos descriptivos de los sujetos son presentados en la Tabla 2. Un ciclista no pudo completar el programa de entrenamiento prescrito y fue relegado del estudio. La Tabla 3 muestra el rendimiento en la condición inicial para la prueba por tiempo simulada de 40 km, el test máximo incremental, y el esprint de 25 kJ, mientras que la Figura 2 muestra el cambio porcentual en estos tests para los ciclistas individuales después del entrenamiento.

Grupo de Entrenamiento	n	Edad (años)	Masa (kg)	VO_2 pico (L/min)	Grasa Corporal (%)
1	4	26±4	78±15	4,7±0,4	15±4
2	3	24±5	70±20	4,4±1,2	15±3
3	4	28±1	73±4	5,1±0,5	11±3
4	4	27±7	80±8	4,9±0,3	12±3
5	4	26±6	78±8	4,8±0,3	16±4

Tabla 2. *Características de los sujetos en cada grupo de entrenamiento. VO_2 pico: consumo de oxígeno pico medido durante el test incremental máximo. Los datos son presentados como valores medios±desvío estándar.*

Grupo de Entrenamiento	Prueba por Tiempo de 40 km (min)	Producción de Potencia Pico		Test de Esprint de 25 kJ (s)
		W	W/kg	
1	57,3±4	372±29	4,8±0,7	41±5
2	60,3±5	350±95	5,0±0,2	50±20
3	53,6±1	403±20	5,5±0,2	41±5
4	55,9±3	390±25	4,9±0,2	43±5
5	53,7±3	385±18	4,9±0,4	45±6

Tabla 3. *Mediciones de rendimiento de laboratorio en la condición inicial. Los datos son presentados como valores medios±desvío estándar.*

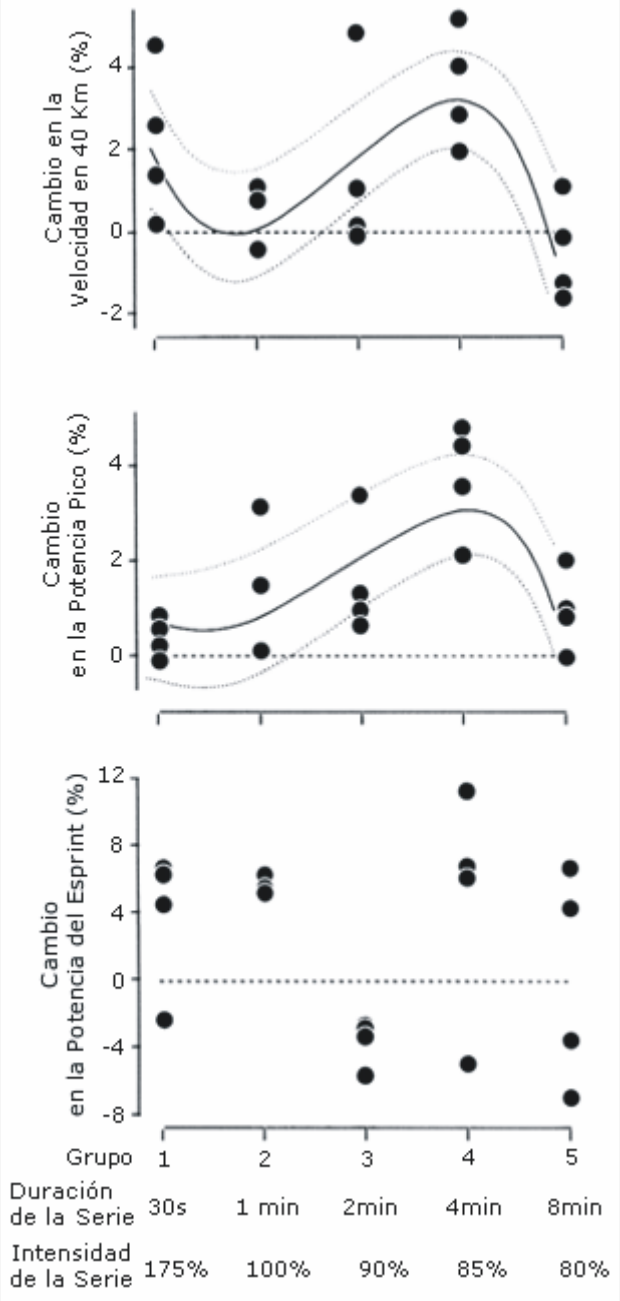

***Figura 2**. Porcentaje de cambio en la velocidad de la prueba contrarreloj de 40 km (panel superior), producción de potencia pico sostenida (panel del medio), y potencia en un esprint de 25 kJ (panel inferior) después de cinco programas de entrenamiento intervalado.*

Los datos de la prueba contrarreloj de 40 km muestran una fuerte tendencia significativa cúbica (r=0,70, p=0,005). Las tendencias lineales y cuadráticas no se ajustaron bien a los datos (r=0,14, p=0,30 y r=0,08, p=0,4, respectivamente). La confiabilidad en esta prueba contrarreloj fue alta (CV=1,1%). El test máximo incremental también mostró una fuerte tendencia cúbica (r=0,62, p=0,02), pero la tendencia cuadrática fue también estadísticamente significativa (r=,051, p=0,03). La tendencia lineal no pareció ser buena (r=0,30, p=0,1). La confiabilidad de este test fue también alta (CV=1,0%). La confiabilidad del test de esprint fue pobre (CV=3,4%), y las tendencias lineales, cuadráticas y cúbicas fueron no significativas (r<0,1 y p=0,4-0,8).

Las mejoras en el rendimiento en la prueba de 40 km no estuvieron asociadas con ninguna diferencia significativa en la utilización de combustibles. Tanto antes como después del entrenamiento, las tasas de oxidación de carbohidratos durante las pasadas en estado estable se incrementaron desde 2,4±0,2 g/min al 50% de PP hasta 3,4±0,3, 4,1±0,3, y 5,4±0,4 g/min al 60, 70 y 80% de PP, respectivamente. Tampoco hubo diferencias en los aumentos correspondientes en la concentración

de lactato plasmático ante las cargas de trabajo incrementales. La concentración de lactato plasmático se incrementó desde 2,4±0,3 mmol/L al 50% de PP hasta 3,3±0,8 y 7,3±1,0 mmol/L al 60, 70 y 80% de PP, respectivamente. La HR tampoco fue significativamente diferente. Antes y después del entrenamiento intervalado, la HR se incrementó progresivamente desde 137±6 lat./min a una tasa de trabajo correspondiente al 50% de PP hasta 171±9 al 80% de PP.

La potencia pico estuvo altamente correlacionada con el tiempo en la prueba contrarreloj de 40 km (r=-0,82, CI 95% = -0,93 hasta -0,58, p=0,0002) tanto antes como después del entrenamiento, pero el cambio porcentual en PP después del entrenamiento no correlacionó con los cambios correspondientes en el rendimiento (r=-0,09, CI 95%=-0,52 hasta 0,38; p=0,9). Sin embargo, tal como se esperaba, los cambios en el porcentaje de PP que los ciclistas podían mantener después de varias sesiones de entrenamiento intervalado estuvieron altamente correlacionados con los cambios en el rendimiento en la prueba de contrarreloj (r=-0,92, p=0,0001).

DISCUSION

En el presente estudio, nosotros utilizamos un enfoque nuevo relacionado al problema de estudiar el efecto de diferentes tipos de entrenamiento sobre el rendimiento físico humano. El hallazgo más importante fue haber encontrado una relación curvilínea entre la intensidad de entrenamiento y el cambio subsiguiente en el rendimiento de una prueba simulada de contrarreloj de 40 km. La relación predijo una mejora máxima en el rendimiento para de las series de trabajo con una duración de 3-6 min y una intensidad correspondiente al 85% de PP. La mejora observada para estas series de trabajo, que fue de aproximadamente 2,5%, coincide bien con los hallazgos previos (12, 16). La predicción de una mejora máxima del rendimiento luego de las series de trabajo realizadas al 85% de PP también coincide con el principio de especificidad, puesto que la prueba contrarreloj de 40 km es realizada a una intensidad promedio de aproximadamente el 80% de PP (o 90% del VO_2 máx.).

El componente principal de la relación curvilínea es un polinomio de grado tres, el cual predice poca o ninguna mejora del rendimiento para las series de trabajo de 1 y 8 min y una mejora substancial en el rendimiento con las series de trabajo de 30 s. Nosotros esperábamos una tendencia simple: por ejemplo, mejor rendimiento con intervalos más prolongados (una tendencia lineal), o un solo máximo o una curva simple (tendencia cuadrática). Tales tendencias no se ajustaron bien a los datos. Nuestra falla para detectar tendencias simples no constituyó un problema metodológico, debido a que los ciclistas bien entrenados presentan una alta reproducibilidad en el rendimiento, de forma similar a los ciclistas empleados en estudios previos realizados en nuestro laboratorio (CV=0,9-1,2%) (12, 15, 16). Las simulaciones basadas en tal reproducibilidad muestran que habríamos detectado una pequeña tendencia lineal o cuadrática, si tal tendencia hubiera existido.

No podemos descartar la posibilidad de que la fuerza aparente de la tendencia cúbica fue un hallazgo de azar y que la relación real subyacente tenga un componente cúbico más débil o inexistente y componentes cuadráticos o lineales. Necesitaríamos evaluar a aun más sujetos para estar más seguros acerca de la naturaleza de la tendencia. Sin embargo, en esta etapa, la tendencia cúbica pasó el test de significacia más riguroso ($p<0,01$), por lo que debemos asumir que la misma es real. ¿Porque entonces la serie de trabajo de 30 s produjo un aumento del rendimiento mientras que la serie de trabajo de 1 min no lo hizo?. De acuerdo al principio de especificidad, las series de 30 s, las cuales habrían sido realizadas con una contribución substancial de la glucólisis independiente de oxígeno, no aumentarían el rendimiento en una prueba contrarreloj de 40 km, el cual depende casi completamente de la potencia proporcionada por el sistema aeróbico (7). Sin embargo, esta visión de la especificidad podría ser demasiado simplista. Es posible, por ejemplo, que las series de trabajo a alta intensidad provoquen adaptaciones en los músculos que trabajan que conduzcan a una mejora de la resistencia a la fatiga, quizás alterando la capacidad *buffer* muscular (14). La naturaleza del mecanismo de la fatiga es un misterio; efectivamente, ni siquiera está claro si el músculo es el sitio en el cual se produce la fatiga en un ejercicio de alta intensidad de 1 h de duración. Teniendo en cuenta nuestra incerteza acerca de un fenómeno tan básico, creemos que es razonable que las series de trabajo de 30 s beneficien al rendimiento.

Para nuestro mejor conocimiento, no hay otros estudios publicados acerca del efecto de series de trabajo tan intensas sobre el rendimiento de resistencia en atletas previamente bien entrenados. El único otro estudio que investigó los efectos del incremento de la intensidad del entrenamiento en sujetos bien entrenados fue el trabajo de Acevedo y Goldfarb (1). Ellos encontraron que siete corredores entrenados, quienes reemplazaron una parte de su entrenamiento de 100 km/semana durante 8 semanas por carrera de alta intensidad (90-95% de la frecuencia cardíaca máxima) durante 3 días/semana, incrementaron significativamente su tiempo de carrera hasta el agotamiento en el laboratorio (19:25 vs. 23:18 min:s) y también su tiempo en una carrera de 10 km (34:24 vs. 35:27 min:s). Coetzer et al. (3) también han reportado que los corredores con un rendimiento de carrera superior entrenan a una mayor intensidad promedio que corredores de menor nivel: sus corredores más lentos pasaban el 13% del volumen total de entrenamiento semanal

realizando carrera de alta intensidad (>80% del VO_2 máx.), mientras que los corredores más rápidos pasaban significativamente más tiempo (36%) a estas intensidades más altas. Ellos plantearon la hipótesis que sostiene que más entrenamiento intenso podría permitir a los atletas sostener una fracción más alta del VO_2 máx. o producción de potencia por un período más largo sin la acumulación de lactato en los músculos que trabajan (3). Tal hipótesis es consistente con la observación de una reducción en la concentración de lactato plasmático a la misma tasa de trabajo absoluta (80% de PP) luego del entrenamiento intervalado intenso (16).

Además, Weston et al. (17) han reportado previamente que seis sesiones de entrenamiento de alta intensidad en ciclistas bien entrenados resultaron en una mejora significativa de la capacidad *buffer* del músculo, la cual estuvo estrechamente correlacionada con el rendimiento en una prueba contrarreloj de 40 km (r=-0,82). Es interesante el hallazgo de que la mejora de la capacidad *buffer* del músculo en el estudio de Weston et al. (17), después de series de 5 min al 80% de PP, fue mayor que la reportada por Nevill et al. (14) después de 8 semanas de entrenamiento de esprint. Las investigaciones previas que han empleado programas de entrenamiento de esprint de corta duración (<30 s) han reportado que tales intervenciones incrementan la potencia máxima en 5 s e incluso el rendimiento de corta duración (30 s) (13, 14). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha determinado si el entrenamiento de esprint tiene algún efecto sobre el rendimiento de resistencia. Paradójicamente, nosotros hemos reportado previamente que el entrenamiento intervalado (5 min) sostenido mejora el rendimiento de un test de esprint máximo que dura 60 s (12). Debería ser señalado que la contribución de los sistemas de la potencia aeróbica en una serie de trabajo de 30 s corresponde al 40%, mientras que dicha contribución aumenta hasta el 50% durante un esfuerzo máximo de 1 min (para una revisión ver la ref. 7).

El segundo hallazgo del presente estudio lo constituyó la fuerte tendencia curvilínea encontrada en el efecto del entrenamiento intervalado sobre la potencia pico determinada durante el test máximo incremental. Una vez más, una tendencia cúbica dio el mejor ajuste y estimó una mejora máxima en el rendimiento (3%) para las series de trabajo de 4 min. A diferencia de la tendencia en el rendimiento en la prueba contrarreloj de 40 km, no hubo una tendencia aparente para el aumento del rendimiento con las series de trabajo más cortas, ya que una tendencia cuadrática, la cual predeciría un pico en la mejora del rendimiento más cercano al centro del intervalo de dosis de entrenamiento, puede ser más apropiada para estos datos. Los estudios previos, que usaron series de trabajo al 80-85% de la potencia pico han resultado en incrementos en PP de 5% (12, 16). Coincidiendo con estos estudios, no hubo una correlación significativa entre el cambio en la potencia pico y el tiempo en 40 km. En estos primeros estudios, la falta de correlación podría haberse debido al hecho que todos los sujetos realizaron el mismo entrenamiento y mejoraron en una cantidad similar en cada test. De este modo cualquier variabilidad en el rendimiento fue probablemente menor que el error de medición, por lo que no era posible hallar una alta correlación. Además, los tamaños de muestra en estos estudios fueron relativamente pequeños para definir un coeficiente de correlación con una precisión razonable, por lo que una correlación moderada podría haber sido perdida fácilmente. En la presente investigación, hubo un intervalo en el incremento del rendimiento en los dos tests. Además, el mayor tamaño de muestra del presente estudio permitió alcanzar una mayor precisión para estimar la correlación. De este modo, en el mejor de los casos, puede haber solo una correlación moderada entre los cambios en el rendimiento en los dos tests. La falta de una correlación fuerte sugiere que el entrenamiento intervalado produce respuestas diferentes entre los individuos en el rendimiento en la prueba contrarreloj de 40 km y la potencia pico. Otros investigadores también han encontrado diferencias significativas en la respuesta al estímulo de entrenamiento (2). Una ramificación práctica del principio de individualidad del entrenamiento es que el mismo programa de entrenamiento no va a beneficiar de igual modo a aquellos atletas que lo realicen (6).

La tercera y última medición de laboratorio durante el presente estudio, probó ser relativamente poco reproducible. De este modo la falta de una tendencia curvilínea en respuesta a los diferentes protocolos de entrenamiento no es sorprendente, debido a que seríamos incapaces de detectar cambios que pueden haber ocurrido con diferentes protocolos de entrenamiento intervalado.

En conclusión, los resultados de la presente investigación muestran que series de trabajo de 4 min de duración a ritmo de competición resultaron en la mayor mejora del rendimiento en una prueba contrarreloj de 40 km y también en un test máximo incremental para determinar la potencia pico. Las tendencias de mejoría indicaron que las series muy cortas y de alta intensidad también pueden mejorar el rendimiento de resistencia. El punto mínimo aparente en la mejora del rendimiento entre los intervalos de 30 s y 4 min sugiere que hay más de un mecanismo por el cual el entrenamiento intervalado mejora el rendimiento. Sin embargo, son necesarias más investigaciones para confirmar este concepto y dilucidar el posible mecanismo responsable de tal mejora. Finalmente, los efectos de diferentes tipos de entrenamiento intervalado sobre el rendimiento de esprint necesitan ser investigados mediante un test de esprint más confiable.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Will Hopkins, *Department of Physiology, School of Medical Science, University of Otago*. Box 913, Dunedin, Nueva Zelanda. Correo electrónico: will.hopkins@otago.ac.nz.

La dirección actual de Nigel Stepto y John Hawley es: *Department of Human Biology and Movement Science, RMIT University*, Bundoora, Victoria 3083, Australia.

REFERENCIAS

1. Acevedo, E. O., and A. H. Goldfarb (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold and endurance. *Med. Sci. Sports Exerc. 21:563-568*
2. Bouchard, C., F. T. Dionne, J. A. Simoneau, and M. R. Boulay (1992). Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc. Sports Sci. Rev. 20:27-58,*
3. Coetzer, P., T. D. Noakes, B. Sanders (1993). Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. *J. Appl. Physiol. 75:1822-1827*
4. Durnin, J. V. G. A., and J. Wormesley (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements in 481 men and women aged 16-72 yrs. *Br. J. Nutr. 32:77-97*
5. Frayn, K. N (1983). Calculations of substrate oxidation rates in vivo from gas exchange. *J. Appl. Physiol. 55:628-634*
6. Hawley, J. A., and L. M. Burke (1998). Performance: Training and Nutritional Strategies for Sport. *Sydney: Allen-Unwin, p. 28*
7. Hawley, J. A., and W. G. Hopkins (1995). Aerobic glycolytic and aerobic lipolytic power systems: a new paradigm with implications for endurance and ultraendurance training. *Sports Med. 19:240-250*
8. Hawley, J. A., K. H. Myburgh, T. D. Noakes, and S. C. Dennis (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and endurance performance. *J. Sports Sci. 15:325-333*
9. Hawley, J. A., and T. D. Noakes (1992). sustained power output predicts VO2max and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. 65:79-83*
10. Holbert, D., T. C. Chenier, and K. F. O'Brien (1990). Trend analysis for repeated measures designs. *Med. Sci. Sports Exerc. 22:871-878*
11. Hopkins, W. G., J. A. Hawley, and L. M. Burke (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med. Sci. Sports Exerc. 31:472-485*
12. Lindsay, F. H., J. A. Hawley, K. H. Myburgh, H. H. Schomer, and T. D. Noakes (1996). Improved athletic performance in highly-trained cyclists after interval training. *Med. Sci. Sports Exerc. 28:1427-1434*
13. Linnossier, M. T., C. Denis, D. Doromis, A. Geyssant, and J. R (1993). Lacour. Ergometric and metabolic adaptations to a 5-s sprint training programme. *Eur. J. Appl. Physiol. 67:408-414*
14. Nevill, M. E., L. H. Boobis, S. T. Brooks, and C. Williams (1989). Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol. 67:2376-2382*
15. Palmer, G. S., S. C. Dennis, T. D. Noakes, and J. A Hawley (1996). Assessment of the reproducibility of performance testing on an air-braked cycle ergometer. *Int. J. Sports Med. 17:293-298*
16. Westgarth-Taylor, C., S. Rickard, K. H. Myburgh, K. H., T. D. Noakes, S. C. Dennis, and J. A. Hawley (1997). Metabolic and performance adaptation to high intensity interval training in high-trained endurance cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. 75:298-304*
17. Weston, A. R., K. H. Myburgh, F. H. Lindsay, S. C. Dennis, T. D. Noakes, and J. A. Hawley (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. 75:7-13*

Cita Original

Stepto, Nigel K.; Hawley, John A.; Dennis, Steven C.; Hopkins, Will G. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. Med. Sci. Sports Exerc.; 31 (5): 736-741, 1999