

Monograph

Un Modelo Práctico de Entrenamiento Intervalado de Bajo Volumen y Alta Intensidad Induce Adaptaciones de Rendimiento y Metabólicas que se A semejan al Entrenamiento Intervalado de Esprints "Máximos"

Mahdi Bayati, Babak Farzad, Reza Gharakhanlou y Hamid Agha-Alinejad

Department of Physical Education and Sport Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University

RESUMEN

Recientemente, un novedoso tipo de entrenamiento por intervalos de alta intensidad conocido como entrenamiento de esprint por intervalos ha demostrado incrementos en el rendimiento aeróbico y anaeróbico con muy poco compromiso de tiempo. Sin embargo, este tipo de programa de entrenamiento no es práctico para la población general. El presente estudio comparó el impacto de un entrenamiento por intervalos de bajo volumen y alta intensidad con un entrenamiento de esprint máximo por intervalos. Se reclutaron veinticuatro hombres jóvenes activos, a quienes se los dividió de manera aleatoria en tres grupos: (G_1 : 3-5 series de pedaleo \times esfuerzos de 30 s con 4 min de recuperación; G_2 : 6-10 series de pedaleo \times $P_{m\acute{a}x}$ del 125% con 2 min de recuperación) y un grupo de control que no realizó entrenamiento. Todos realizaron un test de $VO_{2m\acute{a}x}$, un test para determinar el tiempo hasta el agotamiento a la $P_{m\acute{a}x}$ ($T_{m\acute{a}x}$) y un test de Wingate antes y después de la intervención. El lactato en sangre capilar se obtuvo a los 3 y 20 min posteriores al test de Wingate. El entrenamiento se llevó a cabo en 3 sesiones por semana durante 4 semanas. En el G_1 , se hallaron mejoras significativas ($p < 0.05$) posteriores al entrenamiento en el $VO_{2m\acute{a}x}$ (9.6%), la potencia al $VO_{2m\acute{a}x}$ (12.8%), el $T_{m\acute{a}x}$ (48.4%), la producción de potencia pico (10.3%) y la producción de potencia media (17.1%). En el G_2 , se hallaron mejoras significativas posteriores al entrenamiento en el $VO_{2m\acute{a}x}$ (9.7%), la potencia al $VO_{2m\acute{a}x}$ (16.1%), el $T_{m\acute{a}x}$ (54.2%), la producción de potencia pico (7.4%; $p < 0.05$), pero la producción de potencia media no sufrió cambios significativos. La recuperación del lactato en sangre (min 20) disminuyó de manera significativa en el G_1 y G_2 , en comparación con los valores previos a la prueba y el grupo CON ($p < 0.05$). En conclusión, los resultados del presente estudio concuerdan con los trabajos previos, demostrando la efectividad del programa de entrenamiento de máximo de 30 s para provocar adaptaciones aeróbicas y anaeróbicas. Es interesante destacar que el entrenamiento de bajo volumen y alta intensidad provocó resultados similares pero implicó solo la mitad de la intensidad con el doble de repeticiones.

Palabras Clave: test de wingate, esprints repetidos, lactato en sangre, adaptaciones del entrenamiento

INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que los factores tales como una pobre aptitud cardiorrespiratoria, la adiposidad, la intolerancia a la glucosa, la hipertensión y la arterioesclerosis son amenazas independientes a la salud y que la inactividad física incrementa el riesgo de muerte prematura y eleva la incidencia de las condiciones insalubres mencionadas anteriormente. Los estudios de diseño transversal y los estudios de intervención longitudinal han proporcionado evidencia experimental para la efectividad del entrenamiento aeróbico prolongado tal como la carrera continua, la caminata a paso ligero o el ejercicio en cicloergómetro como intervenciones que pueden disminuir el riesgo relativo de desarrollar diferentes enfermedades metabólicas (Nybo et al., 2010). Sin embargo, la falta de tiempo es una razón habitual de porqué las personas no logran cumplir los programas de entrenamiento (Godin et al., 1994). Recientemente, un novedoso tipo de entrenamiento por intervalos de alta intensidad (HIT), conocido como entrenamiento de esprint por intervalos (SIT; esfuerzos “máximos” repetidos de 30 s), ha demostrado incrementos en el rendimiento aeróbico en un marco de tiempo corto (Burgomaster et al., 2005; Gibala et al., 2006). Lo interesante es que el SIT puede inducir mejoras similares en la aptitud cardiorrespiratoria y la capacidad oxidativa del músculo esquelético a las observadas con el entrenamiento prolongado, (Burgomaster et al., 2008; Nybo et al., 2010) y un estudio reciente ha reportado que el SIT mejora considerablemente la acción de la insulina (Babraj et al., 2009). Aparentemente, las series repetidas de SIT enfatizan muchos de los sistemas fisiológicos/bioquímicos utilizados en los esfuerzos aeróbicos (Hazell et al., 2010) y suponen un desafío metabólico considerable para el músculo esquelético, como las grandes disminuciones en el glucógeno muscular y el pH, y los incrementos en el lactato en sangre, como también la oxidación corporal total de carbohidratos y grasas (Stepto et al., 2001). Se ha demostrado un amplio rango de adaptaciones posteriores a este tipo de entrenamiento, incluyendo un incremento en el contenido de glucógeno de reposo (Barnett et al., 2004; Rodas et al., 2000), una mayor actividad de varias enzimas glucolíticas y oxidativas (Burgomaster et al., 2005; Jacobs et al., 1987), la capacidad de amortiguación de H^+ (Gibala et al., 2006) y el tiempo hasta llegar al agotamiento (Burgomaster et al., 2005; Gibala et al., 2006). También se han reportado valores incrementados (Rodas et al., 2000; Tabata et al., 1996) o sin cambios (Burgomaster et al., 2005) del $VO_{2m\acute{a}x}$ después del SIT. Sin embargo, la utilización de esfuerzos “máximos” de 30 s como programa de entrenamiento es a menudo desestimada categóricamente por insegura, poco práctica o intolerable para la población general. Por lo tanto, una evaluación de las adaptaciones fisiológicas inducidas por las diferentes estrategias del entrenamiento por intervalos en un amplio rango de poblaciones permitirá brindar recomendaciones en base a la evidencia que puedan proporcionar una alternativa para la prescripción habitual de ejercicios para los individuos con apremio de tiempo. En consecuencia, el propósito de este estudio ha sido comparar un protocolo de SIT establecido (esfuerzos “máximos” de 30 s con una recuperación de 4 min) con un tipo de HIT modificado (esfuerzos “máximos” de 30 s al 125% de la $P_{m\acute{a}x}$ con una recuperación de 2 min) con respecto al rendimiento aeróbico y anaeróbico. La intensidad del entrenamiento modificado es de la mitad de la intensidad del SIT pero con el doble de repeticiones. Se ha planteado la hipótesis de que los cambios inducidos por el entrenamiento son los mismos.

MÉTODOS

Participantes

Veinticuatro hombres jóvenes graduados participaron como voluntarios en la investigación (edad = 25 ± 0.8 años; altura = 1.72 ± 0.08 m; masa = 70 ± 11 kg; porcentaje de grasa corporal = $18 \pm 6\%$). Todos eran habitualmente activos pero no formaban parte de ningún tipo de programa de entrenamiento estructurado ni tampoco lo habían hecho durante al menos tres meses antes del estudio. Antes de cualquier participación, a los participantes se les explicó de manera detallada los procedimientos experimentales y los riesgos potenciales, y todos dieron su consentimiento informado por escrito. Los patrones dietarios y de actividad física se mantuvieron a lo largo de todo el estudio. A los participantes se los dividió en tres grupos de acuerdo con la prueba del tiempo hasta el agotamiento y el $VO_{2m\acute{a}x}$. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Tarbiat Modares y se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Evaluación Inicial

Antes de la evaluación inicial, todos los participantes asistieron a una sesión de familiarización en el laboratorio con el fin de presentar los procedimientos de evaluación/entrenamiento y para asegurar que cualquier efecto de aprendizaje fuera mínimo para las mediciones de los valores iniciales. En primer lugar, cada participante completó las pruebas de composición corporal y el test de ejercicio progresivo (GTX) para determinar su $VO_{2m\acute{a}x}$ y la potencia al $VO_{2m\acute{a}x}$ ($P_{m\acute{a}x}$). La segunda prueba fue la prueba de $T_{m\acute{a}x}$ utilizada para determinar el tiempo hasta llegar al agotamiento a la $P_{m\acute{a}x}$. Al tercer día,

los participantes realizaron un test de Wingate de 30 segundos para determinar la producción de potencia pico (PPO), la producción de potencia media (MPO) y el trabajo total (W_{tot}). Todas las pruebas fueron separadas por al menos 24 hs, la post-prueba se produjo dentro de las 48 hs de la última sesión de entrenamiento en el mismo orden (Hazell et al., 2010).

Test Progresivo de Ejercicio

El $VO_{2máx}$ se determinó utilizando un test incremental progresivo en un cicloergómetro hasta llegar a la fatiga volitiva. Después de una entrada en calor de 5 min y de realizar ejercicios de estiramientos, la prueba comenzó con una producción de potencia inicial de 50 W y se incrementó en 30 W por minuto hasta que el participante llegaba a la fatiga (Laursen et al., 2002a). El análisis de gases espirados se obtuvo con un sistema metabólico automatizado (ZAN600 CPET: ZAN Messgerate GmbH, Oberthulba, Alemania), y el $VO_{2máx}$ se calculó como el mayor oxígeno consumido en el período de 1 minuto. El $VO_{2máx}$ se confirmaba cuando se reunían tres o más de los siguientes criterios: (1) una meseta en el VO_2 , a pesar de un incremento en la carga de trabajo; (2) un índice de intercambio respiratorio (RER) más elevado que 1.2 (Esfarjani y Laursen, 2007); (3) un índice de frecuencia cardiaca de al menos el equivalente al 90% del máximo predicho para la edad (Tanaka et al., 2001); y/o (4) un agotamiento visible. La $P_{máx}$ se definió como la última carga de trabajo completada (e.g., mantenido durante 10 s) (Laursen et al., 2002a).

Tiempo hasta el Agotamiento a la $P_{máx}$

La segunda prueba realizada fue una prueba de $T_{máx}$, utilizada para determinar el tiempo hasta llegar al agotamiento a la $P_{máx}$, que se definió como la producción de potencia mínima que generó una lectura de VO_2 y que estuvo dentro de 2 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ de la lectura previa, a pesar de un incremento en la carga de trabajo (Laursen et al., 2005). Después de una entrada en calor de 10 minutos a 50 W, los participantes pedalearon hasta llegar a la fatiga en la $P_{máx}$ a una cadencia auto-seleccionada; la prueba terminaba cuando la cadencia caía por debajo de 60 $rev \cdot min^{-1}$. La cantidad total de trabajo completado durante la prueba de $T_{máx}$ ($WT_{máx}$) se calculó como un producto de la $P_{máx}$ y el $T_{máx}$ ($WT_{máx} = (P_{máx} \times T_{máx})/1000$) y se expresó en kJ.

Test de Wingate

La producción de potencia pico (PPO), la producción de potencia media (MPO) y el trabajo total (W_{tot}) se evaluaron con un test de Wingate en un cicloergómetro con freno mecánico (modelo 894E, Monark, Suecia). Los participantes realizaron un test de Wingate con una sobrecarga equivalente a 0.075 kg/kg de masa corporal. A los participantes se les ordenó que comenzaran a pedalear lo más rápido posible contra la sobrecarga inercial del ergómetro, y luego se aplicó de manera manual la carga apropiada. A los participantes se les alentó de manera verbal para que continuaran pedaleando lo más rápido posible durante toda la prueba de 30 s. La PPO se definió como la producción más elevada de trabajo en un período de 5 min; y la MPO, como la producción de trabajo promedio para el período de prueba de 30 segundos (Nottle y Nosaka, 2007). El W_{tot} se utilizó para describir la resistencia muscular y se calculó multiplicando la MP por 30 segundos y se expresó en kJ. El coeficiente de correlación intra-clase (ICC) determinado con anterioridad para las variables de Wingate fue de 0.94 (Bar-Or, 1987).

Intervención del Entrenamiento

A los participantes se les asignó a uno de los tres grupos: (G_1) esfuerzos máximos de 30 s con un período de recuperación de 4 min; (G_2) 30 s al 125% de la $P_{máx}$ con 2 min de recuperación y grupo de control (sin entrenamiento) (Tabla 1). Los participantes entrenaron tres veces por semana en días alternados durante un total de 4 semanas. El programa de entrenamiento de G_1 comenzó con 3 intervalos en la semana 1, progresando a 5 en la semana 3, seguido de una disminución a cuatro intervalos en la semana 4. El programa de entrenamiento de G_2 comenzó con 6 intervalos en la semana 1, progresando a 10 en la semana 3, seguido de una disminución a ocho intervalos en la semana 4.

Lactato en Sangre

Las muestras de sangre capilar se obtuvieron (mediante una punción en la yema del dedo) del dedo índice en el descanso, 3 y 20 min después del test de Wingate. El lactato en sangre se analizó en el lugar utilizando un analizador de lactato (Lactate Scout, Senslab GmbH Leipzig, Alemania).

Análisis Estadísticos

Todos los datos se reportaron como medias \pm DE. Para evaluar la normalidad de la distribución se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov. Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para medidas repetidas de 3×2 (Grupo \times tiempo). Cuando se advirtió una diferencia significativa, se utilizó una prueba post-hoc de Tukey para especificar dónde se produjo la diferencia. El nivel de significancia estadística alfa se estableció en $p \leq 0.05$. El tamaño del efecto se calculó utilizando d

de Cohen (d).

Grupo	Sesiones/semana	Series/sesión	Intensidad	Duración del trabajo	Pausa
G ₁ (n = 8)	3	3-5	máxima	30s	4 min
G ₂ (n = 8)	3	6-10	125% de la P _{máx}	30s	2 min

Tabla 1. Protocolo de entrenamiento de cuatro semanas para los dos grupos de entrenamiento de esprint por intervalos (G₁, G₂).

		Pre-test	Post-test	Valor de P	95%CI
VO_{2máx} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	G₁	44.6 (4.3)	48.9 (3.5)	0.046	0.08-8.5
	G₂	44.3 (3.9)	48.6 (3.3)	0.048	0.04-8.5
	CON	45.1 (3.9)	44.7 (4.2)	0.876	3.9-4.5
P_{máx} (W)	G₁	242.4 (26.2)	273.5 (22.8) †	0.027	3.6-58.6
	G₂	238.5 (27.2)	277.1 (16.3) †	0.007	11.1-66.0
	CON	241.8 (24.8)	237.1 (31.8)	0.730	22.7-32.1
T_{máx} (s)	G₁	131.5 (26.7)	195.2 (14.0) †	0.000	36.4-90.9
	G₂	130.8 (26.8)	201.7 (13.4) †	0.000	43.6-98.0
	CON	134.5 (35.5)	131.0 (26.7)	0.792	23.6-30.8
W_{Tmáx} (kJ)	G₁	32.4 (9.7)	53.6 (7.3) †	0.000	12.6-29.7
	G₂	31.7 (9.9)	56.0 (6.2) †	0.000	15.6-32.8
	CON	32.0 (7.2)	30.8 (6.1)	0.771	7.3-9.8

Tabla 2. Valores pre-test versus post-test para el consumo de oxígeno máximo (VO_{2máx}), la potencia al VO_{2máx} (P_{máx}) y el tiempo hasta llegar al agotamiento a P_{máx} (T_{máx}). Los datos son medias (± DE). † Significativamente diferente en comparación con el grupo CON (p < 0.05).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los cambios en las variables fisiológicas asociadas con el GXT. Después del programa de entrenamiento de 4 semanas, el VO_{2máx} (G₁: d = 1.10; G₂: d = 1.19), la P_{máx} (G₁: d = 1.27; G₂: d = 1.77), el T_{máx} (G₁: d = 3.13; G₂: d = 3.53) y el WT_{máx} (G₁: d = 2.49; G₂: d = 3.02) aumentaron de manera significativa en los grupos G₁ y G₂, en comparación con el período previo a la prueba. Asimismo, los incrementos en la P_{máx} (G₁: p = 0.011, d = 1.31; G₂: p = 0.006, d = 1.58), el T_{máx} (G₁: p = 0.00, d = 3.01; G₂: p = 0.00, d = 3.34) y el WT_{máx} (G₁: p = 0.00, d = 3.38; G₂: p = 0.00, d = 4.09) fueron significativamente mayores en el G₁ y G₂, en comparación con el grupo CON. Ninguna variable cambió de manera significativa en el grupo CON.

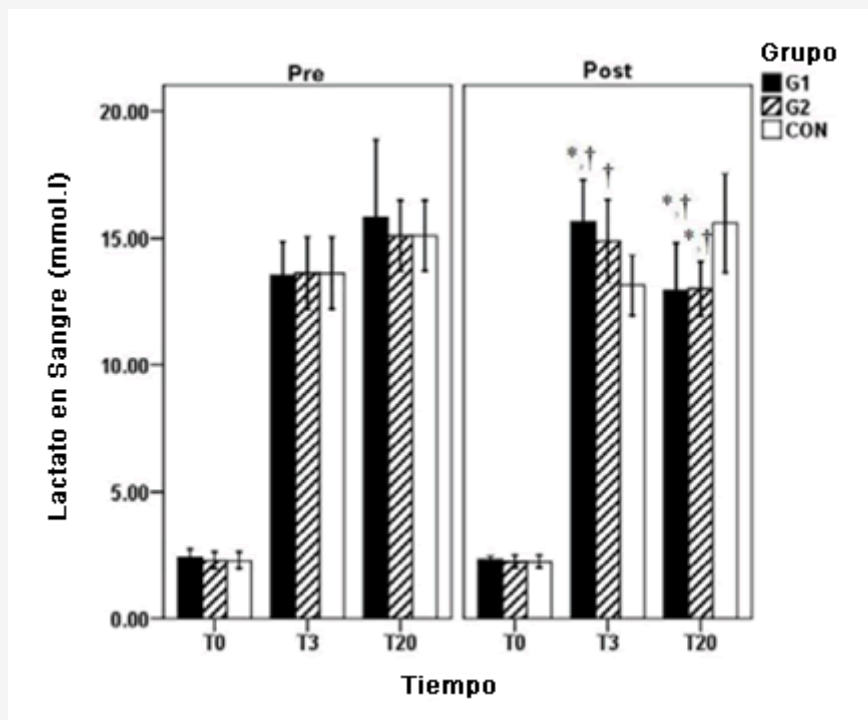


Figura 1. Concentraciones de lactato en sangre durante la recuperación, a los 3 y 20 min después del test de Wingate. Los valores son medias \pm DE. *Significativamente diferente de los valores previos a la prueba ($p < 0.05$). † Significativamente diferente en comparación con el grupo de control ($p < 0.05$).

La PPO aumentó de manera significativa en el G₁ ($p = 0.006$, $d = 1.48$; Tabla 3) y el G₂ ($p = 0.04$, $d = 1.86$) después del entrenamiento. Asimismo, el incremento en la PPO fue significativamente mayor en G₁, en comparación con el grupo CON ($p = 0.009$, $d = 1.66$). Además, la MPO aumentó de manera significativa en G₁, en comparación con el período previo a la prueba ($p = 0.025$, $d = 1.32$; Tabla 3) y el grupo CON ($p = 0.017$, $d = 1.49$). La MPO en el G₂ no cambió de manera significativa con el entrenamiento ($p = 0.064$). Hubo incrementos significativos en el W_{tot} en G₁ ($p = 0.025$, $d = 1.38$; Tabla 3), que fueron estadísticamente significativos en comparación con el grupo CON ($p = 0.017$, $d = 1.52$).

Después del período de entrenamiento de 4 semanas, el BLa- máximo (min 3) fue significativamente más elevado en G₁, en comparación con el período previo a la prueba (Post: 15.6 ± 1.6 vs Pre: 13.5 ± 1.3 mmol·L⁻¹; $p = 0.01$, $d = 1.45$; Figura 1) y el grupo CON (d : 15.6 ± 1.6 vs CON: 13.1 ± 1.2 mmol·L⁻¹; $p = 0.003$, $d = 1.76$). El BLa- máximo en el G₂ solo fue significativamente diferente en comparación con el grupo CON (G₂: 14.8 ± 1.6 vs CON: 13.1 ± 1.2 mmol·L⁻¹; $p = 0.032$, $d = 1.2$). La recuperación del lactato en sangre (min 20) disminuyó significativamente en G₁ (Post: 12.9 ± 1.8 vs Pre: 15.8 ± 3.0 mmol·L⁻¹; $p = 0.007$, $d = 1.21$) y G₂ (Post: 13.0 ± 1.0 vs Pre: 15.1 ± 1.4 mmol·L⁻¹; $p = 0.04$, $d = 1.75$), en comparación con el período previo a la prueba y el grupo CON ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

La evidencia reciente sugiere que el entrenamiento de esprint por intervalos es una estrategia eficiente en términos temporales, para estimular una cantidad de adaptaciones del músculo esquelético comparables con el entrenamiento de resistencia tradicional (Gibala y McGee, 2008). Se ha demostrado que el SIT regula en forma ascendente el co-activador 1 α del receptor activado por proliferados de peroxisoma (PGC-1 α), un potente regulador de la biogénesis mitocondrial (Gibala et al., 2009), que podría ser el mecanismo subyacente responsable de la adaptación aeróbica observada.

		Pre-test	Post-test	Valor de P	95%CI
Potencia pico (W)	G₁	776 (72)	856 (36) [†]	0.006	24 - 136
	G₂	775 (41)	833 (20)	0.045	1 - 133
	CON	783 (67)	780 (54)	0.902	53 - 59
Potencia media (W)	G₁	378 (61)	443 (37) †	0.025	8 - 121
	G₂	375 (55)	417 (44)	0.141	15 - 98
	CON	372 (54)	373 (54)	0.955	55 - 58
Trabajo total (kJ)	G₁	11.3 (1.8)	13.2 (1.1) †	0.002	0.2 - 3.6
	G₂	11.2 (1.6)	12.5 (1.3)	0.100	0.4 - 2.9
	CON	11.2 (1.6)	11.2 (1.6)	0.900	1.6 - 1.7

Tabla 3. Valores pre-test versus post-test para la producción de potencia pico, la producción de potencia media y el trabajo total. Los datos son medias (\pm DE). [†] Significativamente diferente en comparación con el grupo CON ($p < 0.05$).

Esta información es interesante porque significa que dichas adaptaciones pueden obtenerse con una disminución sustancial en el tiempo de entrenamiento. Sin embargo, la viabilidad de este tipo de entrenamiento es cuestionable para la población general. Por lo tanto, el propósito del presente estudio ha sido comparar el reconocido protocolo SIT contra un tipo de HIT modificado en el rendimiento aeróbico y anaeróbico.

El primer hallazgo del presente estudio fue que ambos programas de entrenamiento mejoraron de manera significativa y similar el $VO_{2\text{máx}}$ en los participantes sin entrenamiento (G_1 : 9.6% vs G_2 : 9.7%; Tabla 2). Varios estudios han demostrado un incremento en el $VO_{2\text{máx}}$ después de un programa SIT (Creer et al., 2004; Barnett et al., 2004). En contraste con estos hallazgos, recientemente Burgomaster et al. (2005) demostraron en participantes sin entrenamiento que seis sesiones de entrenamiento de esprint por intervalos (intervalos máximos de Wingate de 30 s) incrementaron la actividad citrato sintasa en alrededor del 38% y doblaron el tiempo de ejercicio hasta el agotamiento. Curiosamente, no se produjo ningún cambio en el $VO_{2\text{máx}}$. Las mejoras en el $VO_{2\text{máx}}$ pueden producirse a través de los incrementos en el transporte del oxígeno (i.e., incrementos en el volumen sistólico) y/o la utilización del oxígeno a través de los músculos activos (i.e., incrementos en la capilarización/densidad mitocondrial). Dado que la frecuencia cardiaca máxima permanece sin cambios en respuesta al entrenamiento, las mejoras en el transporte del oxígeno a los músculos en ejercicio durante el ejercicio de alta intensidad pueden atribuirse a un incremento en el volumen sistólico. El volumen sistólico puede incrementarse a través de una fuerza contráctil más elevada del ventrículo izquierdo y/o a través de un incremento en la presión de llenado cardiaco, lo que eleva el volumen diastólico final y el volumen sistólico resultante (Laursen y Jenkins, 2002b). Además, los incrementos en el $VO_{2\text{máx}}$ y las enzimas oxidativas reportados por varios autores (Barnett et al., 2004; Gibala et al., 2006) indican que el presente protocolo de entrenamiento de esprint provocó cambios en la capacidad de producir energía por medio del metabolismo oxidativo. También es sabido que la contribución aeróbica al ejercicio de esprint se incrementa, dependiendo de la recuperación entre las series, como una función de los sucesivos esprints (Bogdanis et al., 1996). Los períodos de recuperación relativamente cortos utilizados en el presente estudio habrían impuesto una exigencia considerable sobre el metabolismo aeróbico para producir la resíntesis de ATP en las últimas series de esprint. Todos estos factores pueden explicar el incremento observado en el $VO_{2\text{máx}}$.

El $T_{\text{máx}}$ aumentó de manera significativa en ambos grupos después del entrenamiento (G_1 : 48% vs G_2 : 54%; Tabla 2). Las mejoras del $T_{\text{máx}}$ son mayores que las reportadas por Esfarjani y Laursen (2007), quienes indicaron un incremento del 32% en los corredores moderadamente entrenados utilizando un HIT prescrito al 130% $vVO_{2\text{máx}}$ con intervalos de 30 s de duración. Además, se ha demostrado que el programa SIT máximo de 30 s (durante 2 semanas) mejora (100%) el tiempo de pedaleo hasta llegar al agotamiento al 80% $VO_{2\text{máx}}$ en participantes sin entrenamiento (Burgomaster et al., 2005). Franch et al. (1998) también reportaron un incremento significativo (65%) en el tiempo hasta llegar al agotamiento después de 6 semanas de entrenamiento de intervalos cortos. Desde un punto de vista metabólico, el mayor contenido de enzimas mitocondriales, asociado a un incremento en el índice de utilización de lípidos y, en consecuencia, a una disminución en el índice de depleción del glucógeno, contribuye a una mejor tolerancia al ejercicio, estando la depleción del glucógeno fuertemente ligada a la fatiga durante el ejercicio prolongado (Demarle et al., 2003). Curiosamente, un trabajo exhaustivo de Harmer et al. (2000) indicó una síntesis de ATP anaeróbica disminuida durante el ejercicio intenso luego de siete semanas de entrenamiento de esprint, y también sugirió un metabolismo aeróbico mejorado. Otra razón posible para el mejor $T_{\text{máx}}$ hallado en los grupos de entrenamiento puede ser una menor acumulación de lactato a lo largo de la prueba y/o una mayor capacidad de amortiguación del músculo, lo que se ha demostrado en el entrenamiento de esprints repetidos de 30 s (Gibala et al., 2006). Es posible que la mayor mejora en el $T_{\text{máx}}$ en el G_2 en comparación con G_1 haya sido asistida a través del volumen de entrenamiento más elevado en el G_2 (6-10 series de 30-s), en comparación con G_1 (3-5 series de 30-

s).

La PPO generada durante el test de Wingate aumentó alrededor del 10.3% y el 7.3% en G_1 y el G_2 , respectivamente, sin diferencias entre los grupos (Tabla 3); mientras que la MPO aumentó solo en G_1 en un 17.1% ($p < 0.05$). Este resultado concuerda con una mayor dependencia en la glucólisis durante el entrenamiento en G_1 y podría explicar, al menos de manera parcial, porqué las repeticiones de 30 s menos intensas parecieron menos difíciles. Dichos resultados concuerdan con los estudios previos que reportan una mejora en la PPO con el SIT. Burgomaster et al. (2005) informaron un incremento en la PPO después de 2 semanas de SIT, aunque la MPO no cambió en su investigación. Una mayor concentración de fosfocreatina muscular (Rodas et al., 2000), las actividades enzimáticas anaeróbicas (MacDougall et al., 1998; Parra et al., 2000) y un incremento significativo en las fibras FTA, junto con una disminución en las fibras ST (Jansson et al., 1990; Dawson et al., 1998), son posibles explicaciones para los presentes hallazgos.

Como se esperaba con el SIT, hubo un incremento en el máximo lactato en sangre en G_1 (15.5%; Figura 1) desde el período previo al entrenamiento hasta el posterior. Un incremento en el BLA- máximo en el período posterior a la prueba que coincide con una mayor potencia pico, potencia media y el trabajo total en G_1 . Sharp et al. (1986) reportaron un incremento en las concentraciones de lactato en sangre y el trabajo total realizado durante un ciclo de esprint máximo de 45 s luego de ocho semanas de entrenamiento de esprint intensivo en los participantes sin entrenamiento. Estos datos se reportaron junto con un incremento en la enzima glucolítica fosfofructoquinasa (PFK), sugiriendo que los mayores valores de lactato y trabajo total se debieron a una mejor producción glucolítica. También se han demostrado incrementos en las enzimas glucolíticas tales como la hexoquinasa y la PKF debido al SIT (MacDougall et al., 1998; Rodas et al., 2000), indicando que los incrementos en los valores de lactato en sangre y el trabajo total en G_1 pueden deberse a una función glucolítica mejorada. Curiosamente, Sharp y sus colegas (1986) no vieron ningún cambio en el pH muscular, a pesar de las mayores concentraciones de lactato, sugiriendo un incremento en la capacidad de amortiguación, lo que también puede haber contribuido a los incrementos en el trabajo total en el presente estudio, a pesar de las mayores concentraciones de lactato en sangre. No obstante, los cambios en el G_2 no alcanzaron un nivel significativo ($p > 0.05$). Además, la recuperación del lactato en sangre cambió de manera significativa y similar con cualquiera de los regímenes de entrenamiento (Figura 1).

Como resultado, el SIT máximo de 30 s debería incorporarse sin dificultades al programa de entrenamiento de cualquier atleta que desee aumentar la potencia aeróbica y anaeróbica con rapidez, pero no en el programa de entrenamiento de la población general. El modelo de entrenamiento basado en Wingate requiere de un ergómetro especializado y un nivel de motivación del sujeto extremadamente elevado. Dada la naturaleza extrema del ejercicio, es dudoso que la población general pueda adoptar el modelo de manera segura y práctica. Al igual que en el presente estudio, los estudios futuros deberían analizar los métodos basados en intervalos modificados para identificar la combinación óptima de la intensidad de entrenamiento y el volumen necesarios para inducir las adaptaciones de manera práctica y con buen rendimiento del tiempo.

CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio concuerdan con los trabajos previos, demostrando la efectividad del SIT máximo de 30 s para las adaptaciones aeróbicas y anaeróbicas. Sin embargo, es importante advertir que muchas de las mismas ganancias de rendimiento se produjeron en el protocolo HIT modificado (30-s al 125% de la $P_{\text{máx}}$).

Puntos Clave

- Debido al volumen de entrenamiento notoriamente bajo en los grupos de entrenamiento, los resultados sugieren que el entrenamiento intenso por intervalos es realmente una estrategia con buen rendimiento del tiempo para inducir las rápidas adaptaciones metabólicas y de rendimiento.
- Los resultados demuestran que un programa práctico de HIT de bajo volumen es eficaz para mejorar las adaptaciones metabólicas y de rendimiento que se asemejan a las mismas ganancias de rendimiento producidas en el protocolo máximo de SIT.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Centro de Investigación de la universidad Tarbiat Modares (TMU), Tehran, Irán. Los autores agradecen a los participantes del presente estudio por su tiempo y esfuerzo.

REFERENCIAS

1. Babraj, J.A., Vollaard, N.B., Keast, C., Guppy, F.M., Cottrell, G. and Timmons, J.A (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocrine Disorders* 28(9), 3
2. Barnett, C., Carey, M., Proietto, J., Cerin, E., Febbraio, M.A. and Jenkins, D (2004). Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *Journal of Science and Medicine in Sport* 7(3), 314-322
3. Bar-Or, O (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine* 4(6), 381-394
4. Blair, S.N., LaMonte, M.J. and Nichaman, M.Z (2004). The evolution of physical activity recommendations: how much is enough? . *American Journal of Clinical Nutrition* 79(5), 913S-920S
5. Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H. and Lakomy, H.K (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology* 80(3), 876-884
6. Burgomaster, K.A., Hughes, S.C., Heigenhauser, G.J.F., Bradwell, S.N. and Gibala, M.J (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology* 98, 1985-1990
7. Burgomaster, K.A., Howarth, K.R., Phillips, S.M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M.J., McGee, S.L. and Gibala, M.J (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology* 586(1), 151-160
8. Creer, A.R., Ricard, M.D., Conlee, R.K., Hoyt, G.L. and Parcell, A.C (2004). Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 25, 92-98
9. Dawson, B., Fitzsimons, M., Green, S., Goodman, C., Carey, M., and Cole, K (1998). Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *European Journal of Applied Physiology* 78, 163-169
10. Demarle, A.P., Heugas, A.M., Slawinski, J.J., Tricot, V.M., Koralsztein, J.P. and Billat, V.L (2003). Whichever the initial training status, any increase in velocity at lactate threshold appears as a major factor in improved time to exhaustion at the same severe velocity after training. *Archives of Physiology & Biochemistry* 111(2), 167-176
11. Esfarjani, F. and Laursen, P.B (2007). Manipulating high intensity interval training: Effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport* 10, 27-35
12. Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S. and Pedersen, P.K (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(8), 1250-1256
13. Gibala, M.J., Little, J.P., Essen, M.V., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S., and Tarnopolsky, M.A (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology* 575(3), 901-911
14. Gibala, M.J., and McGee, S.L (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? . *Exercise and Sport Sciences Reviews* 36(2), 58-63
15. Gibala, M.J., McGee, S.L., Garnham, A.P., Howlett, K.F., Snow, R.J. and Hargreaves, M (2009). Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1alpha in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 106, 929-934
16. Godin, G., Desharnais, R., Valois, P., Lepage, L., Jobin, J. and Bradet, R (1994). Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: observations among different populations. *American Journal of Health Promotion* 8, 279-285
17. Harmer, A.R., Mckenna, M.J., Sutton, J.R., Snow, R.J., Ruell, P.A., Booth, J., Thompson, M.W., Mackay, N.A., Stathis, C.G., Crameri, R.M., Carey, M.F. and Eager, D.M (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptation during intense exercise following sprint training in humans. *Journal of Applied Physiology* 89, 1793-1803
18. Hazell, T.J., MacPherson, R.E.K., Gravelle, B.M.R. and Lemon, P.W.R (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *European Journal of Applied Physiology* 110, 153-160
19. Jacobs, I., Esbjörnsson, M., Sylvén, C., Holm, I. and Jansson, E (1987). Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19(4), 368-374
20. Jansson, E., Esbjörnsson, M., Holm, I. and Jacobs, I (1990). Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiologica Scandinavica* 140, 359-363
21. Laursen, P.B., Blanchard, M.A. and Jenkins, D.G (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology* 27(4), 336-348
22. Laursen, P.B. and Jenkins, D.G (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimizing training programs and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine* 32(1), 53-73
23. Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S. and Jenkins, D.G (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(3), 527-533
24. MacDougall, J.D., Hicks, A.L., MacDonald, J.R., Mckelvie, R.S., Green, H.J. and Smith, K.M (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology* 84(6), 2138-2142
25. Nottle, C. and Nosaka, K (2007). Changes in power assessed by the Wingate Anaerobic Test following downhill running. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1), 145-150
26. Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M.D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., Bülow, J., Randers, M.B., Nielsen, J.J., Aagaard, P. and Krstrup, P (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42(10), 1951-1958
27. Parra, J., Cadefau, J.A., Rodas, G., Amigó, N. and Cussó, R (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica* 169, 157-165

28. Rodas, G., Ventura, J.L., Cadefau, J.A., Cusso, R. and Parra, J (2000). A short training program for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology* 82, 480-486
29. Sharp, R.L., Costill, D.L., Fink, W.J. and King, D.S (1986). Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *International Journal of Sports Medicine* 7(1), 13-17
30. Stepto, N.K., Martin, D.T., Fallon, K.E., and Hawley, J.A (2001). Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(2), 303-310
31. Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M. and Yamamoto, K (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28(10), 1327-1330
32. Tanaka, H., Monahan, K.D. and Seals, D.R (2001). Age-predicted maximum heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology* 37(1), 153-156

Cita Original

Mahdi Bayati, Babak Farzad, Reza Gharakhanlou and Hamid Agha-Alinejad. A Practical Model of Low-Volume High-Intensity Interval Training Induces Performance and Metabolic Adaptations that Resemble 'All-Out' Sprint Interval Training. *Journal of Sports Science and Medicine* (2011) 10, 571 - 576