

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Respuestas fisiológicas y de rendimiento al entrenamiento interválico de alta intensidad en mujeres patinadoras de velocidad en línea

Sara Fereshtian^a, Mohsen Sheykhloovand^{b,c,*}, Scott Forbes^d, Hamid Agha-Alinejad^e, Mohammadali Gharaat^f

^aDepartment of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Irán

^bDepartment of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Irán

^cDepartment of Exercise Physiology, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Ardabil Branch, Ardabil, Irán

^dHuman Kinetics, Okanagan College, Penticton, Canadá

^eDepartment of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Irán

^fDepartment of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Irán

Recibido el 7 de febrero de 2017; aceptado el 12 de junio de 2017

PALABRAS CLAVE

Carrera;
Consumo de oxígeno;
Umbral anaeróbico;
Rendimiento deportivo;
Patinaje de velocidad

Resumen

Objetivo: Valorar y comparar los efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad (*high-intensity interval training* [HIIT]) modificando la intensidad del ejercicio hacia el entrenamiento de resistencia tradicional (*traditional endurance training* [TET]) sobre las adaptaciones fisiológicas y de resistencia, en mujeres patinadoras de velocidad en línea entrenadas.

Método: Las participantes fueron asignadas aleatoriamente a uno de los tres grupos HIIT: 6, 8, 10 (repeticiones/sesión de 1 a 3 semanas, respectivamente) × 60 segundos (s) a una velocidad de carrera asociada con $\dot{V}O_{2max}$ (100% $\dot{V}O_{2max}$) (H_{100} , n = 7), 115% $\dot{V}O_{2max}$ (H_{115} , n = 7) y 130% $\dot{V}O_{2max}$ (H_{130} , n = 7), relación esfuerzo recuperación 1:3; y/o grupo TET (n = 7): 60 min de carrera al 75% $\dot{V}O_{2max}$ tres sesiones por semana.

Resultados: Se hallaron las siguientes mejoras significativas ($p < 0,05$) (excepto, como se indica) HIIT en: $\dot{V}O_{2max}$ ($H_{100} = +7,6\%$, $H_{115} = +6,1\%$, $H_{130} = +0,1\%$; $p = 0,4$), $\dot{V}O_{2max}$ ($H_{100} = +10,3\%$, $H_{115} = +6,3\%$, $H_{130} = +9,8\%$), pico de potencia máxima (PPO) ($H_{100} = +10,3\%$, $H_{115} = +9,1\%$, $H_{130} = +5,5\%$; $p = 0,2$), potencia media (MPO) ($H_{100} = +22,6\%$, $H_{115} = +24,1\%$, $H_{130} = +21,9\%$), rendimiento en la carrera de patinaje de 3.000 m ($H_{100} = -15,2\%$, $H_{115} = -7,9\%$, $H_{130} = -10,6\%$), y T_{max} ($H_{100} = +39,4\%$, $H_{115} = +5,0\%$; $p = 0,5$, $H_{130} = +17,8\%$; $p = 0,1$). No se hallaron diferencias significativas entre los grupos. Tampoco se hallaron cambios en estas variables en el grupo TET.

* Autor para correspondencia

Correo electrónico: m.sheykhloovand@gmail.com (M. Sheykhloovand).

KEYWORDS

Running;
Oxygen consumption;
Anaerobic threshold;
Athletic performance;
Skating

Conclusiones: Estos hallazgos sugieren que 3 semanas de un programa HIIT, a un volumen bajo (unos 6 o 10 min por sesión), se asocia a mejoras en $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, PPO, MPO, en el rendimiento en la carrera de patinaje de 3.000 m y T_{max} en mujeres patinadoras de velocidad en línea entrenadas.

© 2017 FC Barcelona. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados

Physiological and performance responses to high-intensity interval training in female inline speed skaters

Abstract

Objective: To evaluate and compare the effects of high-intensity interval training (HIIT) varying in exercise intensities to traditional endurance training (TET) on physiological and performance adaptations in trained female inline speed skaters.

Methods: Participants were randomly assigned to one of three HIIT groups: 6,8,10 (repetitions/session from 1st to 3rd week respectively) \times 60 seconds (s) at the running speed associated with $\dot{V}O_{2max}$ (100% $v\dot{V}O_{2max}$) (H100, N = 7), 115% $v\dot{V}O_{2max}$ (H115, N = 7), and 130% $v\dot{V}O_{2max}$ (H130, N = 7), 1:3 work to recovery ratio; and/or TET group (N = 7): 60-minute running at 75% $v\dot{V}O_{2max}$ three sessions per week.

Results: Significant (except as shown) improvements ($P < .05$) following HIIT were found in: $\dot{V}O_{2max}$ (H100 = +7.6%, H115 = +6.1%, H130 = +0.1%; $P = .4$), $v\dot{V}O_{2max}$ (H100 = +10.3%, H115 = +6.3%, H130 = +9.8%), peak power output (PPO) (H100 = +10.3%, H115 = +9.1%, H130 = +5.5%; $P = .2$), mean power output (MPO) (H100 = +22.6%, H115 = +24.1%, H130 = +21.9%), 3000 meter (m) skating performance (H100 = -15.2%, H115 = -7.9%, H130 = -10.6%), and T_{max} (H100 = +39.4%, H115 = +5.0%; $P = .5$, H130 = +17.8%; $P = .1$). No significant differences were found among groups. Also, no changes in these variables were found in the TET group.

Conclusions: Present findings suggest that three weeks of HIIT program with low volume (almost 6 or 10 min per session) is associated with improvements in $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, PPO, MPO, 3000 m skating performance, and T_{max} in trained female inline speed skaters.

© 2017 FC Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El patinaje de velocidad en línea de los campeonatos del mundo se divide en dos disciplinas principales: carreras de pista y carreras de carretera. Las distancias oficiales de las carreras de pista varían de 300 a 15.000 m y las de carretera van de 200 m a 42,195 km. Tanto las carreras de pista como las carreras de carretera requieren recorridos de sprint de alta intensidad, intercalados con cortos períodos de reposo de baja a moderada intensidad¹. El éxito en el patinaje de velocidad en línea se ha atribuido a la fuerza del empuje y a altas tasas de refosforilación de ATP a través del metabolismo no oxidativo («anaeróbico»)^{2,3} y del metabolismo oxidativo^{4,5}. Igualmente, los patinadores de velocidad en línea requieren sistemas de energía anaeróbicos y aeróbicos bien desarrollados^{2,5,6}.

Se requiere que los patinadores de velocidad en línea obtengan el rendimiento máximo varias veces a lo largo del entrenamiento anual. Los programas de entrenamiento capaces de aumentar el metabolismo aeróbico se basan principalmente en períodos de 6 semanas por lo menos, y estos programas suelen basarse en un entrenamiento continuo de resistencia⁷; en estos casos, el entrenamiento interválico de alta intensidad (*high-intensity interval training* [HIIT]) de bajo volumen puede representar una alternativa al en-

trenamiento de resistencia para mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico en un corto espacio de tiempo¹³.

El HIIT es un estímulo de entrenamiento potente para mejorar los sistemas de energía anaeróbica y aeróbica⁸⁻¹¹ durante un período corto de tiempo (por ejemplo, 6 sesiones durante 2 semanas^{12,13}). Se ha utilizado un HIIT con diversas intensidades (% $v\dot{V}O_{2max}$) para mejorar el rendimiento de deportistas de una amplia gama de deportes^{10,14}; sin embargo, hasta la fecha la información relativa a los efectos del HIIT en el rendimiento de mujeres deportistas de patinaje de velocidad en línea es limitada. Además, debido a la escasez de datos que se relacionan directamente con nuestro conocimiento de las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento que se producen después de un entrenamiento interválico de alta intensidad, en atletas entrenados¹⁴ no está claro qué intensidad de HIIT es más eficaz para mejorar las adaptaciones requeridas por mujeres patinadoras de velocidad durante un breve período. En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue examinar los efectos de tres protocolos diferentes de HIIT con diferentes intensidades (100, 115 y 130% de velocidad a $\dot{V}O_{2max}$ [$v\dot{V}O_{2max}$]) en comparación con el entrenamiento tradicional de resistencia (*traditional endurance training* [TET]), durante 3 semanas, sobre adaptaciones fisiológicas, hematológicas y de rendimiento en mujeres patinadoras de velocidad en línea

entrenadas. La hipótesis es que el TET presenta menos efectos en el rendimiento aeróbico y anaeróbico que el HIIT. Además, planteamos la hipótesis de que el HIIT con una intensidad equivalente a $\dot{V}O_{2max}$ podría inducir mayores adaptaciones fisiológicas y de rendimiento en comparación con superiores intensidades.

Material y métodos

Participantes

Veintiocho mujeres patinadoras de velocidad en línea (media \pm desviación estándar, edad: 20 ± 4 años, altura: $160,5 \pm 13$ cm, masa corporal: $59,5 \pm 13$ kg) se ofrecieron voluntariamente para participar en este estudio. Todos los sujetos tenían un mínimo de 3 años de experiencia en patinaje de velocidad en línea (años de experiencia: 7 ± 3), competían a nivel nacional y en aquel momento estaban entrenando al menos 3 veces por semana. Antes de la participación, se expusieron a los sujetos extensamente los procedimientos experimentales y los riesgos potenciales, y todos ellos proporcionaron el consentimiento informado por escrito. Todos los procedimientos seguían los principios éticos de la declaración de Helsinki y fueron aprobados por el comité de ética de la universidad local.

Protocolo y procedimientos experimentales

Los procedimientos experimentales tuvieron una fase de familiarización (que incluía 3 sesiones para familiarizar a los participantes con los equipos y protocolos y minimizar los efectos del aprendizaje) seguida de un pre-test, luego 3 semanas de entrenamiento en cinta de correr, y después el post-test (fig. 1). El entrenamiento se realizó en una cinta de correr porque durante los meses de invierno las condiciones climáticas dificultan el entrenamiento específico del deporte⁵, ya que los patinadores de velocidad en línea a menudo practican el *cross training* en la cinta de correr, porque es sumamente accesible. Antes del inicio de la fase de pretemporada del programa de entrenamiento anual de los atletas se realizaron pruebas pre-test de rendimiento aeróbico y anaeróbico, junto con los parámetros hematológicos. Antes y después de los programas de entrenamiento los participantes se personaron en el laboratorio en tres ocasiones, y cada sesión estaba espaciada por intervalos de 48 h. El primer día de la prueba incluyó un test incremental hasta el agotamiento para determinar el consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2max}$), el umbral anaeróbico (UA [$\% \dot{V}O_{2max}$]) y el tiempo hasta el agotamiento a $\dot{V}O_{2max}$ (T_{max}). El segundo día incluyó el test de Wingate de extremidades inferiores (30 s) para determinar la potencia máxima de salida (PPO) y la potencia media (MPO) en un ergómetro eléctrico con freno. El tercer día consistió en una prueba contrarreloj específica de 300 m y 3.000 m en una pista de patinaje de 200 m.

Después del pre-test los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los cuatro grupos y completaron un programa de HIIT progresivo o un programa de TET de tres sesiones por semana. Estos protocolos fueron modificados a partir de investigaciones anteriores utilizando intensidades de entrenamiento y duraciones similares^{7,15}. Dos días des-

pués de la finalización de la última sesión de entrenamiento los participantes repitieron la misma batería de pruebas en el mismo orden y bajo condiciones similares a los pre-test. Los registros alimentarios se recogieron dos días antes del pre-test y la misma dieta se repitió antes del post-test, para minimizar la influencia de la dieta en el rendimiento.

Procedimientos

Prueba de esfuerzo. Para determinar el $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, O_2 , pulso y UA, los participantes realizaron un test incremental en la cinta consistente en un calentamiento de 3 min caminando a 6 km h^{-1} con una inclinación del 0%, seguido de incrementos de 1 km h^{-1} cada minuto hasta el agotamiento^{7,16,17}. Las variables metabólicas se midieron utilizando un analizador de gases (Cosmed K4B2, Italia) que se calibró antes y se verificó después de cada prueba siguiendo las instrucciones del fabricante. Se confirmaba $\dot{V}O_{2max}$ si se cumplían 3 o más de los siguientes criterios: 1) meseta de $\dot{V}O_2$ a pesar del incremento de la velocidad de carrera; 2) una relación de intercambio respiratorio (RER) mayor que 1,1; 3) una frecuencia cardíaca dentro los 10 lpm de su máximo predicho, y/o 4) agotamiento volitivo. $v\dot{V}O_{2max}$ se registró como la velocidad mínima a la que el atleta estaba corriendo cuando se produjo $\dot{V}O_{2max}$ ^{7,17,18}. El pulso de O_2 se determinó dividiendo el $\dot{V}O_2$ absoluto por la frecuencia cardíaca correspondiente. El umbral anaeróbico ($\% \dot{V}O_{2max}$) se determinó con el método *V-Slope*^{7,19}.

Determinación de T_{max} . Para determinar T_{max} , tras un calentamiento de 10 min en una cinta (Technogym, DAK9EC, Italia) se aumentó la velocidad hasta $v\dot{V}O_{2max}$ y se estimuló verbalmente a los participantes a correr todo lo posible. Se registró el tiempo de agotamiento en $v\dot{V}O_{2max}$ (T_{max})¹⁶. El test post-HIIT T_{max} se completó a la misma velocidad que el test pre-HIIT T_{max} y en las mismas condiciones⁹.

Potencia anaeróbica. La potencia máxima (PPO) y la potencia media (MPO) se evaluaron mediante una prueba de esfuerzo máximo de 30 s (test de Wingate) en un cicloergómetro (894E, Monark, Suecia) contra una resistencia equivalente a $0,075 \text{ kp kg}^{-1}$ de masa corporal²⁰. Los sujetos tenían los pies firmemente sujetos a los pedales y la altura del sillín se ajustó al máximo confort y eficiencia de pedaleo. Los participantes alcanzaron una velocidad de pedaleo máxima frente a la resistencia inicial del ergómetro, durante 2 s, antes de que se aplicara la carga completa y fuera activado el contador electrónico de revoluciones. Los participantes fueron alentados verbalmente a continuar pedaleando tan rápido como fuera posible durante el test de 30 s. El PPO de 5 s y el MPO de 30 s fueron determinados posteriormente mediante un sistema de adquisición de datos^{7,16,17}.

Muestra sanguínea. Para las mediciones hematológicas, se extrajo sangre por punción venosa y se dispuso en tubos EDTA. Los recuentos de hematíes (BBC), hemoglobina (Hb), hematocrito (Hc) y hemoglobina corpuscular media (MCH) se midieron con un contador de células automático (Dia-tron, Abacus C, Hungría).

Protocolos HIIT y TET. El estudio consistió en cuatro intervenciones de entrenamiento (fig. 1). Las sesiones de entrenamiento de cada grupo HIIT (H_{100} , H_{115} , H_{130}) consistieron en 60 s de carrera realizados a $100\% v\dot{V}O_{2max}$ (es decir, H_{100}),

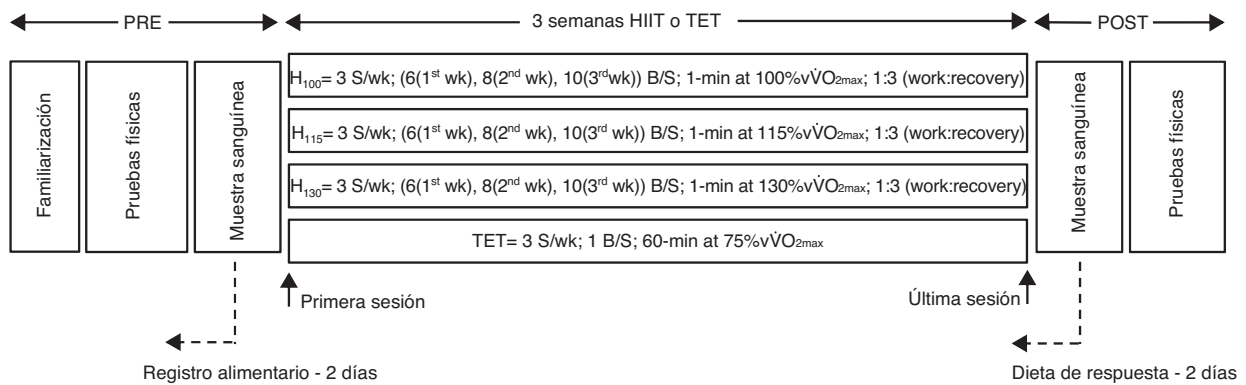


Figura 1 Descripción del protocolo experimental. B/S: períodos/sesión; d: día; HIIT: entrenamiento a intervalos de alta intensidad; POST: post-ejercicio; PRE: pre-ejercicio; S/wk: sesiones/semana; TET: entrenamiento de resistencia tradicional; wk: semana.

115%v $\dot{V}O_{2max}$ (es decir, H₁₁₅) y 130%v $\dot{V}O_{2max}$ (es decir, H₁₃₀). El volumen de entrenamiento (repeticiones/sesión) aumentó cada semana (6 [1.^a semana], 8 [2.^a semana], 10 [3.^a semana] repeticiones/sesión) en los tres grupos HIIT. En todos los grupos HIIT la recuperación entre los intervalos se estableció en 3 min. Los participantes en el grupo TET realizaron 3 sesiones semanales consistentes en 60 min a una intensidad equivalente a 75%v $\dot{V}O_{2max}$ ⁹. Se informó a los sujetos que no debían participar en el entrenamiento de fuerza o cambiar su dieta durante la duración del estudio²¹. Las sesiones de entrenamiento de todos los grupos fueron supervisadas directamente por un investigador del estudio.

Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm DE. Para probar la normalidad de la distribución se utilizó el test de Shapiro-Wilk. Un ANOVA con medidas repetidas 2 factores (pre, post) por 4 (grupos) comparó los cambios en las medidas dependientes en el tiempo y entre los grupos. La prueba *post hoc* de Tukey comparó las diferencias entre grupos cuando se observó una F-ratio significativa. Los análisis estadísticos se completaron con Statistica, versión 8.0 (Stats-Soft Inc., Tulsa, OK, EE.UU.), y el valor α se estableció en $\leq 0,05$.

Resultados

Los cambios en las variables fisiológicas se presentan en la tabla 1. Tras el entrenamiento v $\dot{V}O_{2max}$ aumentó significativamente en H₁₀₀ ($p = 0,01$) y H₁₁₅ ($p = 0,04$) pero no en H₁₃₀ y TET, y no hubo diferencia entre grupos. HIIT aumentó v $\dot{V}O_{2max}$ en H₁₀₀ ($p = 0,04$), H₁₁₅ ($p = 0,05$) y H₁₃₀ ($p = 0,03$); sin embargo, no hubo cambios significativos a través del tiempo después de TET ($p > 0,05$). No se encontraron diferencias entre grupos en v $\dot{V}O_{2max}$. Tampoco se produjeron cambios significativos de pulso O₂ y UA (% v $\dot{V}O_{2max}$) en todos los protocolos de entrenamiento.

PPO no fue significativamente diferente entre grupos, pero mejoró significativamente en H₁₀₀ ($p = 0,03$) y H₁₁₅ ($p = 0,05$), a pesar de no haber cambios después de H₁₁₅, H₁₃₀ y TET. MPO mejoró significativamente en H₁₀₀ ($p = 0,01$), H₁₁₅ ($p = 0,01$) y H₁₃₀ ($p = 0,01$) y se mantuvo sin cambios después

de TET ($p > 0,05$). No se observaron diferencias significativas entre grupos en PPO y MPO.

El rendimiento de la prueba contrarreloj de 3.000 m fue significativamente mejor después de H₁₀₀ ($p = 0,05$), H₁₁₅ ($p = 0,04$) y H₁₃₀ ($p = 0,004$), aunque no hubo cambios significativos después de TET ($p > 0,05$) (tabla 2), sin diferencias entre grupos. No hubo interacción significativa, tiempo o efecto de grupo para la contrarreloj de 300 m (tabla 2). T_{max} aumentó significativamente después de H₁₀₀ ($p = 0,01$), mientras que no mejoró después de H₁₁₅, H₁₃₀ y TET.

No hubo interacción significativa, de tiempo o efectos de grupo en ninguna de las respuestas hematológicas (RBC, Hb, Hct y MCH) (tabla 3).

Discusión

Este es el primer estudio que examina HIIT en mujeres patinadoras de velocidad en línea entrenadas. Los principales hallazgos del presente estudio apoyan nuestra hipótesis que el HIIT podría proporcionar mayores mejoras en los cambios de rendimiento aeróbico y anaeróbico en comparación con el entrenamiento de resistencia. Curiosamente, el HIIT realizado a 100 y 115%v $\dot{V}O_{2max}$ proporcionó respuestas cardiorespiratorias superiores después de 3 semanas de entrenamiento.

En el presente estudio, HIIT a 100 y 115% de v $\dot{V}O_{2max}$ (es decir, H₁₀₀ y H₁₁₅) pudieron aumentar estadísticamente v $\dot{V}O_{2max}$, lo cual apoya los hallazgos anteriores^{9,7,10,22}. Curiosamente no hubo cambios en v $\dot{V}O_{2max}$ en el grupo que entrenaba al 130% de v $\dot{V}O_{2max}$ y en el grupo TET, lo que sugiere que podría haber una intensidad de entrenamiento óptima. La mejora del v $\dot{V}O_{2max}$ puede atribuirse a un aumento en el suministro de oxígeno (es decir, aumento de volumen sistólico) en el entrenamiento de los músculos esqueléticos y/o un aumento en la utilización del oxígeno^{9,10,16}. El pulso de O₂ es una medida indirecta del volumen sistólico¹⁶ que no se alteró en ninguno de los grupos del presente estudio. Por otra parte, no se observó ningún cambio significativo del volumen sanguíneo en los grupos HIIT. RBC y Hb no aumentaron en ninguno de los grupos, lo que indica que no hay cambios en la capacidad de transporte de oxígeno con el entrenamiento. Por lo tanto, el volumen sanguíneo y la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre no pare-

Tabla 1 Valores pre-entrenamiento vs. post-entrenamiento de las variables fisiológicas de los diferentes grupos de entrenamiento

	Grupo (n = 7 de cada)			
	H ₁₀₀	H ₁₁₅	H ₁₃₀	TET
$\dot{V}O_{2max}$ ($ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$)				
Pre	42,4 (5,29)	41,8 (7,57)	42,0 (4,50)	42,4 (4,66)
Post	45,7 (8,94) ^a	44,4 (9,70) ^a	42,4 (5,65)	42,7 (4,84)
% Δ	+7,6	+6,1	+0,1	+0,07
$\dot{V}O_{2max}$ ($km\ h^{-1}$)				
Pre	11,6 (0,5)	12,2 (1,6)	12,2 (2,5)	13,2 (1,3)
Post	12,8 (0,8) ^a	13,0 (1,5) ^a	13,4 (2,6) ^a	13,4 (1,1)
% Δ	+10,3	+6,5	+9,8	+1,5
$\dot{V}O/HR$ ($ml\ b\ min^{-1}$)				
Pre	15,8 (3,9)	14,8 (2,1)	13,0 (1,1)	13,1 (2,9)
Post	15,0 (1,3)	15,4 (3,1)	12,9 (1,3)	12,3 (2,1)
% Δ	-5,3	+4,0	-0,07	-6,5
AT (% $\dot{V}O_{2max}$)				
Pre	90,4 (14,4)	82,0 (13,0)	81,0 (17,7)	83,6 (4,3)
Post	86,8 (19,9)	84,4 (9,2)	84,2 (9,1)	81,8 (7,6)
% Δ	-4,1	+2,9	+3,9	-2,2
PPO (W)				
Pre	477,8 (39,3)	494,2 (51,1)	494,1 (37,6)	495,1 (51,8)
Post	527,2 (45,3) ^a	539,3 (99,3) ^a	521,3 (79,1)	519,4 (36,8)
% Δ	+10,3	+9,1	+5,5	+4,9
MPO (W)				
Pre	380,9 (47,6)	377,8 (46,8)	372,7 (39,0)	403,9 (56,1)
Post	467,1 (37,8) ^a	469,0 (67,4) ^a	454,5 (65,6) ^a	447,4 (56,0)
% Δ	+22,6	+24,1	+21,9	+10,7

Los valores se expresan como media (\pm DE).

AT (% $\dot{V}O_{2max}$): umbral anaeróbico (porcentaje de $\dot{V}O_{2max}$); MPO: potencia media de salida; PPO: pico de potencia máxima; $\dot{V}O_2/HR$: pulso O_2 ; $\dot{V}O_{2max}$: consumo máximo de oxígeno; $\dot{V}O_{2max}$: velocidad a $\dot{V}O_{2max}$.

^a Significativamente mayor que el valor pre-entrenamiento ($p < 0,05$).

Tabla 2 Valores pre-entrenamiento vs. post-entrenamiento en carrera de 300 m, carrera de 3.000 m y T_{max} en diferentes grupos de entrenamiento

	Grupo (n = 7 de cada)			
	H ₁₀₀	H ₁₁₅	H ₁₃₀	TET
Carrera de 300 m (s)				
Pre	36,1 (5,9)	35,8 (5,1)	34,5 (4,6)	34,5 (3,8)
Post	35,9 (5,8)	35,5 (5,3)	33,4 (3,5)	35,2 (2,9)
% Δ	-0,05	-0,08	-3,2	+2,0
Carrera de 3.000 m (min)				
Pre	7,63 (0,68)	6,94 (1,08)	6,64 (1,04)	6,50 (0,98)
Post	6,62 (1,35) ^a	6,43 (1,23) ^a	6,00 (0,81) ^a	6,24 (0,94)
% Δ	-15,2	-7,9	-10,6	-4,1
T_{max} (min)				
Pre	4,31 (1,83)	4,72 (2,55)	4,21 (2,07)	5,16 (1,84)
Post	6,01 (2,70) ^a	4,96 (0,85)	4,96 (1,33)	5,95 (2,85)
% Δ	+39,4	+5,0	+17,8	+15,3

Los valores se expresan como media (\pm DE).

Carrera de 300 m: 300 m de patinaje contrarreloj; carrera de 3.000 m: 3.000 m de patinaje contrarreloj; T_{max} : tiempo hasta el agotamiento de $\dot{V}O_{2max}$.

^a Significativamente mayor que el valor pre-entrenamiento ($p < 0,05$).

Tabla 3 Valores pre-entrenamiento vs. post-entrenamiento para variables hematológicas en diferentes grupos de entrenamiento

	Grupo (n = 7 de cada)			
	H ₁₀₀	H ₁₁₅	H ₁₃₀	TET
RBC (mill/mm³)				
Pre	4,8 (0,28)	4,7 (0,25)	4,8 (0,24)	4,8 (0,55)
Post	4,8 (0,25)	4,7 (0,28)	4,9 (0,28)	4,9 (0,45)
%Δ	0,0	0,0	+2,0	+2,0
Hb (g/dl)				
Pre	14,2 (0,9)	13,4 (0,5)	13,6 (0,8)	13,4 (1,4)
Post	13,8 (1,0)	13,3 (0,4)	13,8 (1,2)	13,9 (1,3)
%Δ	-2,8	-0,07	+1,4	+3,7
Hc (%)				
Pre	41,0 (1,97)	39,8 (2,3)	40,8 (1,6)	40,1 (4,0)
Post	41,3 (2,54)	40,9 (0,85)	42,0 (3,6)	41,2 (2,3)
%Δ	+0,07	+2,7	+2,9	+2,7
MCH (pg)				
Pre	29,1 (2,0)	28,5 (1,11)	28,2 (2,0)	28,5 (4,9)
Post	28,7 (1,7)	28,1 (1,2)	27,9 (1,6)	28,8 (4,7)
%Δ	-1,4	-1,4	-1,0	+1,0

Los valores se expresan como media (±DE).

Hb: hemoglobina; Hc: hematocrito; MCH: hemoglobina corpuscular media; RBC: glóbulos rojos.

cen explicar los cambios de $\dot{V}O_{2max}$ en este experimento. Esto respalda los estudios de Farzad et al.¹⁶ y Laursen et al.²¹, quienes no reportaron cambios en las variables hematológicas y el volumen plasmático en respuesta a un HIIT a corto plazo. Estos resultados sugieren que HIIT puede haber aumentado la extracción de oxígeno debido a un aumento de las adaptaciones periféricas más que de las centrales^{10,22}. De acuerdo con esto, Gibala y McGee²³ encontraron un aumento de la capacidad oxidativa muscular (evaluada utilizando la actividad máxima o contenido proteico de enzimas mitocondriales tales como citrato sintasa y citocromo oxidasa) que oscila entre aproximadamente el 15 y el 35% después de seis sesiones de HIIT más de 2 semanas, indicando que las adaptaciones periféricas son probablemente responsables del aumento de oxígeno consumido, siguiendo el HIIT realizado en un corto período de tiempo. En este sentido, MacPherson et al.²² demostraron que las mejoras post-entrenamiento del volumen sistólico y del gasto cardíaco máximo (Q_{max}) solo se observaron después del entrenamiento de resistencia, y concluyeron que la mejora del $\dot{V}O_{2max}$ después de HIIT se debe a adaptaciones periféricas. Mecánicamente, HIIT activa la proteína quinasa activada por AMP (AMPK) y la proteína quinasa activada por mitógeno p38 (MAPK), ambas conocidas por activar el co-activador del receptor activado por el proliferador de peroxisoma (PGC-1 α) y han estado implicadas en la biogénesis del ejercicio mitocondrial¹³. PGC-1 α coactiva los factores de transcripción que indican vías que conducen a adaptaciones mitocondriales y metabólicas¹³. Una limitación del presente estudio fue que no se tomaron biopsias musculares para determinar directamente la capacidad oxidativa muscular. Están justificadas investigaciones futuras que valoren la capacidad oxidativa en mujeres deportistas entrenadas.

En este estudio la velocidad del $\dot{V}O_{2max}$ aumentó significativamente después de 3 semanas de entrenamiento. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que reportan mejoras del $\dot{V}O_{2max}$ (3 a 10%) después de HIIT en sujetos de diferentes capacidades aeróbicas⁹⁻¹¹. Además del aumento del $\dot{V}O_{2max}$, pueden ser responsables de la mejora de $\dot{V}O_{2max}$ la mejora de la capacidad anaeróbica²⁴, la economía de la carrera⁹, la fuerza muscular²⁵ y la habilidad neuromuscular^{9,25}. En el presente estudio el rendimiento de 3.000 m de patinaje mejoró significativamente después de solo 3 semanas de HIIT. Este hallazgo está en línea con investigaciones previas que hallaron mejoras en la contrarreloj de 3.000 m^{9,11} y en la prueba de 2.000 m de remo⁸ después de HIIT. Se ha demostrado que más del 92% de la varianza en el rendimiento está relacionada con el $\% \dot{V}O_{2max}$ en UA y la densidad capilar muscular²⁷. Sin embargo, el presente estudio no encontró cambios significativos en UA en ningún grupo de entrenamiento cuando se expresó como $\% \dot{V}O_{2max}$. Estos resultados sugieren que los mecanismos precisos que mejoraron el rendimiento de 3.000 m de patinaje después de diferentes tipos de HIIT utilizados en nuestro experimento fueron multifactoriales. Los datos de otros estudios sugieren que el HIIT puede estimular una serie de adaptaciones que podrían mejorar el rendimiento además de los cambios en UA. Por ejemplo, una mayor capacidad de amortiguación muscular¹⁹, así como un aumento de la capacidad de la bomba de Na⁺/K⁺ y/o la activación de la unidad motora²⁶ podrían ser otras adaptaciones potenciales que pueden contribuir a una mejora en el rendimiento de la resistencia siguiendo HIIT, como se registró en nuestro estudio. Sin embargo, estos marcadores no fueron evaluados directamente en el presente estudio.

T_{max} mejoró significativamente antes y después del entrenamiento en el grupo H₁₀₀. En línea con nuestros hallazgos,

Esfarjani y Laursen⁹ demostraron que en corredores moderadamente entrenados un programa de carrera basado en HIIT incrementó el tiempo hasta el agotamiento a $\dot{V}O_{2max}$ en un 32%. Smith et al.¹¹ reportaron un aumento significativo (33%) en T_{max} después de 4 semanas de HIIT. Una disminución de la tasa de agotamiento del glucógeno y, por tanto, una mejor tolerancia al ejercicio¹⁶, así como una mayor capacidad de amortiguación muscular^{12,28}, son factores potenciales que contribuyen a la mejora de T_{max} .

El entrenamiento en el presente estudio dio como resultado un aumento significativo de la PPO y la MPO. Estos hallazgos apoyan otras investigaciones^{7,16,20} que han reportado incrementos en el pico y la potencia anaeróbica media tras un corto período de HIIT. Sheykhlovand et al.⁷ demostraron que PPO y MPO aumentaron después de 3 semanas de remo HIIT (6, 7, 8, 9, 9, 9, 8, 7, 6 repeticiones/sesión de la 1.^a a la 9.^a sesión, respectivamente) \times 60 s a 100% $\dot{V}O_{2max}$, relación esfuerzo/recuperación de 1:3. En otro estudio, Farzad et al.¹⁶ demostraron que el pico y la potencia anaeróbica media aumentaron después de 4 semanas de carrera HIIT (6 \times 35 m de carrera total con 10 s de recuperación entre cada sprint). La concentración de fosfocreatina muscular aumentada¹⁶, actividades de enzimas anaerobias²⁰ y un aumento significativo en las fibras glucolíticas oxidativas rápidas, junto con una disminución del porcentaje de fibras de contracción lenta¹⁶, pueden contribuir a los presentes hallazgos.

Una limitación del presente estudio fue el entrenamiento no específico. Stangier et al.⁵ investigaron la influencia de un programa de 8 semanas de carrera o ciclismo en el rendimiento de patinaje de velocidad en línea. Tanto la carrera como el ciclismo fueron suficientes para mejorar el rendimiento específico del deporte a lo largo del tiempo, a pesar de la posible disminución de la técnica de patinaje. Además, es importante tener en cuenta que los patinadores de velocidad en línea realizan a menudo entrenamiento no específico durante los meses de invierno, ya que dado que las condiciones climáticas dificultan el entrenamiento deportivo regular⁵, se usan más modalidades accesibles (por ejemplo, cintas de correr).

Conclusiones

El presente estudio encontró que HIIT indujo cambios significativos en las adaptaciones aeróbicas, anaeróbicas y de rendimiento en mujeres patinadoras de velocidad en línea. Dado el volumen de entrenamiento notablemente inferior en los grupos de HIIT, nuestro resultado sugiere que la carrera basada en HIIT es de hecho una estrategia de tiempo eficiente para inducir adaptaciones fisiológicas rápidas y de rendimiento comparable a TET. Curiosamente, el entrenamiento HIIT a 100 y 115% $\dot{V}O_{2max}$ demostró mejoras cardiorrespiratorias superiores en comparación con el entrenamiento a 130% $\dot{V}O_{2max}$. A pesar de las diferencias en las mejoras cardiorrespiratorias, todos los grupos HIIT pudieron mejorar significativamente el rendimiento de las pruebas contrarreloj de 3.000 m. Se precisan más investigaciones para determinar la intensidad y el volumen ideales del entrenamiento, así como la forma de incorporar HIIT en un plan anual de entrenamiento periódico para mejorar óptimamente el rendimiento de mujeres patinadoras de velocidad en línea. Además, están

justificadas investigaciones futuras que revisen el entrenamiento específico del deporte.

Teniendo en cuenta que estos protocolos de entrenamiento tienen un volumen muy bajo, los patinadores de velocidad en línea y sus entrenadores pueden usar este tipo de prescripciones de entrenamiento cuando los patinadores de velocidad tienen que alcanzar varios picos durante un ciclo anual, particularmente cuando el objetivo es aumentar el rendimiento en un período limitado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen al profesor Philip Bishop su valiosa ayuda científica y a los participantes por su tiempo y esfuerzo.

Bibliografía

1. De Koning JJ, de Groot G, van Ingen Schenau GJ. A power equation for the sprint in speed skating. *J Biomech.* 1992;25:573-80.
2. Rundell KW. Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill in-line skating. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:120-7.
3. Van Ingen Schenau GJ. The influence of air friction in speed skating. *J Biomech.* 1982;15:449-58.
4. Kuipers H, Moran J, Dubravcic-Simunjak S, Mitchell DW, Shobe J, Sakai H, et al. Hemoglobin level in elite speed skaters from 2000 up to 2005, and its relationship with competitive results. *Int J Sports Med.* 2007;28:16-20.
5. Stangier C, Abel T, Hesse C, Claen S, Mierau J, Hollmann W, et al. Effects of cycling vs. running training on endurance performance in preparation for inline speed skating. *J Strength Cond Res.* 2016;30:1597-606.
6. Krieg A, Meyer T, Clas S, Kindermann W. Characteristics of inline speed skating incremental tests and effect of drafting. *Int J Sports Med.* 2006;27:818-23.
7. Sheykhlovand M, Khalili H, Agha-Alinejad H, Gharaat M. Hormonal and physiological adaptations to high-intensity interval training in professional male Canoe polo athletes. *J Strength Cond Res.* 2016;30:859-66.
8. Driller MW, Fell JW, Gregory JR, Shing CM, Williams AD. The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2009;4:110-21.
9. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on $\dot{V}O_{2max}$, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport.* 2007;10:27-35.
10. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training. *J Sport Med.* 2002;32:53-73.
11. Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on $\dot{V}O_{2max}$ and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:892-6.
12. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol.* 2006;575 Pt 3:901-11.

13. Little JP, Safdar A, Wilkin GP, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *J Physiol*. 2010;588:1011-22.
14. Laursen PB. Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*. 2010;2:1-10.
15. Little JP, Jung ME, Wright AE, Wright W, Manders RJ. Effects of high-intensity interval exercise versus continuous moderate-intensity exercise on postprandial glycemic control assessed by continuous glucose monitoring in obese adults. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39:835-41.
16. Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H, Curby DG, Bayati M, Bahraminejad M, et al. Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *J Strength Cond Res*. 2011;25:2392-9.
17. Sheykhloovand M, Gharaat M, Bishop P, Khalili E, Karami E, Fereshtian S. Anthropometric, physiological, and performance characteristics of elite Canoe polo players. *Psychol Neurosci*. 2015;8:257-66.
18. Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at $\dot{V}O_{2max}$ and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*. 1996;22:90-108.
19. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*. 1986;60:2020-7.
20. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol*. 1998;84:2138-42.
21. Laursen PB, Shing CM, Peake JH, Coombes JS, Jenkins DG. Influence of high intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*. 2005;19:527-33.
22. Macpherson RE, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PW. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43:115-22.
23. Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*. 2008;36:58-63.
24. Sheykhloovand M, Gharaat M, Khalili E, Agha-Alinejad H. The effect of high-intensity interval training on ventilatory threshold and aerobic power in well-trained Canoe polo athletes. *Science Sports*. 2016;31:283-9.
25. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*. 2000;29:373-86.
26. Creer AR, Ricard MD, Conlee RK, Hoyt GL, Parcell AC. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med*. 2004;25:92-8.
27. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training, Recommendations for long-distance running. *Sports Med*. 1996;22:157-75.
28. Messonnier L, Freund H, Denis C, Dormois D, Dufour AB, Lacour JR. Time to exhaustion at $\dot{V}O_{2max}$ is related to the lactate exchange and removal abilities. *Int J Sports Med*. 2002;23:433-8.