



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Respostes fisiològiques i de rendiment a l'entrenament intervàlic d'alta intensitat en dones patinadores de velocitat en línia

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, Iran

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

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

^dHuman Kinetics, Okanagan College, Penticton, Canada

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

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

Rebut el 7 de febrer de 2017; acceptat el 12 de juny de 2017

PARAULES CLAU

Cursa;
Consum màxim
d'oxigen;
Llindar anaeròbic;
Rendiment esportiu;
Patinatge de velocitat

Resum

Objectiu: Valorar i comparar els efectes de l'entrenament intervàlic d'alta intensitat (*high-intensity interval training* [HIIT]) modificant la intensitat de l'exercici cap a l'entrenament de resistència tradicional (*traditional endurance training* [TET]) sobre les adaptacions fisiològiques i de resistència, en dones patinadores de velocitat en línia entrenades.

Mètode: Les participants foren assignades aleatòriament a un dels tres grups HIIT: 6, 8, 10 (repeticions/sessió de 1 a 3 setmanes, respectivament) × 60 segons (s) a una velocitat de cursa associada amb $\dot{V}O_{2max}$ ($100\%v\dot{V}O_{2max}$) (H_{100} , n = 7), $115\%v\dot{V}O_{2max}$ (H_{115} , n = 7), i $130\%v\dot{V}O_{2max}$ (H_{130} , n = 7), relació esforç recuperació 1:3; i/o grup TET (n = 7): 60 min de cursa al $75\%v\dot{V}O_{2max}$, tres sessions per setmana.

Resultats: Es trobaren les millores significatives següents ($p < 0,05$) (llevat, com s'indica) HIIT en: $\dot{V}O_{2max}$ ($H_{100} = +7,6\%$, $H_{115} = +6,1\%$, $H_{130} = +0,1\%$; = 0,4), $v\dot{V}O_{2max}$ ($H_{100} = +10,3\%$, $H_{115} = +6,3\%$, $H_{130} = +9,8\%$), pic de potència màxima (PPO) ($H_{100} = +10,3\%$, $H_{115} = +9,1\%$, $H_{130} = +5,5\%$; $p = 0,2$), potència mitjana (MPO) ($H_{100} = +22,6\%$, $H_{115} = +24,1\%$, $H_{130} = +21,9\%$), rendiment en la cursa de patinatge de 3.000 m ($H_{100} = -15,2\%$, $H_{115} = -7,9\%$, $H_{130} = -10,6\%$), i T_{max} ($H_{100} = +39,4\%$, $H_{115} = +5,0\%$; $p = 0,5$, $H_{130} = +17,8\%$; $p = 0,1$). No es trobaren diferències significatives entre els grups. Tampoc no es trobaren canvis significatius en aquestes variables en el grup TET.

* Autor per a la correspondència

Correu electrònic: m.sheykhloovand@gmail.com (M. Sheykhloovand).

KEYWORDS

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

Conclusions: Aquestes troballes suggereixen que 3 setmanes d'un programa HIIT, a un volum baix (de 6 a 10 min per sessió), s'associa a millores en $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, PPO, MPO en el rendiment en la cursa de patinatge de 3000 m i T_{max} en dones patinadores de velocitat en línia entrenades.

© 2017 FC Barcelona. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

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.

Introducció

El patinatge de velocitat en línia dels campionats del món es divideix en dues disciplines principals: curses de pista i curses de carretera. Les distàncies oficials de les curses de pista oscil·len dels 300 als 15.000 m i les curses de carretera van dels 200 m a 42,195 km. Tant les curses de pista com les curses de carretera requereixen recorreguts d'esprint d'alta intensitat intercalats amb períodes breus de repòs de baixa o moderada intensitat¹. L'èxit del patinatge de velocitat en línia s'ha atribuït a la força de l'embranchada i a les altes taxes de refosforilació d'ATP a través del metabolisme no oxidatiu («anaeròbic»)^{2,3} i del metabolisme oxidatiu^{4,5}. Igualment, els patinadors de velocitat en línia requereixen sistemes d'energia anaeròbics i aeròbics ben desenvolupats^{2,5,6}.

Als patinadors de velocitat en línia se'ls demana que obtinguin el màxim rendiment diverses vegades durant l'entrenament anual. Els programes d'entrenament capaços d'augmentar el metabolisme aeròbic es basen principalment en períodes d'almenys 6 setmanes, i aquests programes solen basar-se en un entrenament continu de resistència⁷; en aquests casos, l'entrenament intervàlic d'alta intensitat (*high-intensity interval training* [HIIT]) de volum baix pot representar una alternativa a l'entrenament de re-

sistència per millorar el rendiment aeròbic i anaeròbic en un espai de temps breu¹³.

L'HIIT és un estímul d'entrenament potent que millora els sistemes d'energia anaeròbica i aeròbica⁸⁻¹¹ durant un període de temps breu (per exemple, 6 sessions durant 2 setmanes^{12,13}). S'ha utilitzat l'HIIT a diverses intensitats (% $v\dot{V}O_{2max}$) per millorar el rendiment dels esportistes d'una àmplia gamma d'esports^{10,14}; tanmateix, fins ara la informació relativa als efectes d'HIIT en el rendiment de dones esportistes de patinatge de velocitat en línia és limitada. A més, degut a l'escassetat de dades que coneixem sobre les adaptacions fisiològiques i de rendiment que es produeixen després d'un entrenament intervàlic d'alta intensitat en esportistes entrenats¹⁴, no està clar quina intensitat d'HIIT és més eficaç per millorar les adaptacions requerides per dones patinadores de velocitat durant un període breu. En conseqüència, l'objectiu del present estudi fou examinar els efectes de tres protocols diferents d'HIIT a diferents intensitats (100, 115 i 130% de velocitat a $\dot{V}O_{2max}$ [$v\dot{V}O_{2max}$]) en comparació amb l'entrenament tradicional de resistència (*traditional endurance training* [TET]) durant 3 setmanes, sobre adaptacions fisiològiques, hematològiques i de rendiment en dones patinadores de velocitat en línia entrenades. La hipòtesi és que el TET presenta menys efectes en el rendiment aeròbic i anaeròbic que

l'HIIT. A més, plantegem la hipòtesi que l'HIIT, a una intensitat equivalent a $\dot{V}O_{2max}$, podria induir adaptacions fisiològiques i de rendiment majors en comparació amb intensitats superiors.

Material i mètodes

Participants

Vint-i-vuit dones patinadores de velocitat en línia (mitjana \pm desviació estàndard; edat: 20 ± 4 anys, alçada: $160,5 \pm 13$ cm, massa corporal: $59,5 \pm 13$ kg) s'oferiren voluntàriament per participar en aquest estudi. Tots els subjectes tenien un mínim de 3 anys d'experiència en patinatge de velocitat en línia (anys d'experiència: 7 ± 3), competien a nivell nacional, i en aquell moment entrenaven almenys tres cops per setmana. Abans de cap participació, s'exposaren a bastament els procediments experimentals i riscos potencials als subjectes i tots donaren el consentiment informat per escrit. Tots els procediments seguiren els principis ètics de la declaració d'Hèlsinki, i foren aprovats pel comitè d'ètica de la universitat local.

Protocol i procediments experimentals

Els procediments experimentals tingueren una fase de familiarització (que incloïa tres sessions per familiaritzar els participants amb els equips i protocols i minimitzar els efectes de l'aprenentatge) seguida d'un pretest, després 3 setmanes d'entrenament en cinta de córrer, i després el postest (fig. 1). L'entrenament es féu en una cinta de córrer perquè durant els mesos d'hivern les condicions climàtiques dificulten l'entrenament específic de l'esport⁵, ja que els patinadors de velocitat en línia sovint practiquen *cross training* en la cinta de córrer, perquè és molt accessible. Abans de l'inici de la fase de pretemporada del programa d'entrenament anual dels atletes es feren proves pretest de rendiment aeròbic i anaeròbic, juntament amb els paràmetres hematològics. Abans i després dels programes d'entrenament, els participants es personaren al laboratori en tres ocasions, cada sessió es féu amb un interval de 48 hores. El primer dia de la prova inclogué un test incremental fins a l'esgotament per determinar el consum màxim d'oxigen ($\dot{V}O_{2max}$), el llindar anaeròbic (LA [$\% \dot{V}O_{2max}$]) i el temps fins a l'esgotament $v\dot{V}O_{2max}$ (T_{max}). El segon dia inclogué el test de Wingate d'extremitats inferiors (30 s) per determinar la potència màxima de sortida (PPO) i la potència mitjana (MPO) en un ergòmetre elèctric amb fre. El tercer dia consistí en una prova contrarellotge específica de 300 m i 3.000 m en una pista de patinatge de 200 m.

Després del pretest els participants foren assignats aleatòriament a un dels quatre grups. Els participants completaren un programa HIIT progressiu o un programa TET de tres sessions per setmana. Aquests protocols foren modificats a partir d'investigacions anteriors utilitzant intensitats d'entrenament i durada similars^{7,15}. Dos dies després de finalitzar l'última sessió d'entrenament, els participants van repetir la mateixa bateria de tests en el mateix ordre i en condicions similars que el pretest. Els registres alimentaris es recolliren dos dies abans del pretest i la mateixa dieta es repetí abans

del postest, per minimitzar la influència de la dieta en el rendiment.

Procediments

Prova d'esforç. Per determinar el $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, pols O_2 i LA, els participants realitzaren un test incremental en cinta consistent en un escalfament de 3 min, caminant a 6 km h^{-1} , amb una inclinació del 0%, seguit d'increments d' 1 km h^{-1} cada minut fins a l'esgotament^{7,16,17}. Les variables metabòliques es mesuraren amb un analitzador de gasos (Cosmed K4B2, Itàlia) que es calibrà abans i es verificà després de cada prova, seguint les instruccions del fabricant. Es constatava $\dot{V}O_{2max}$ quan es complien tres o més dels criteris següents: 1) replà de $\dot{V}O_2$ malgrat l'increment de la velocitat de cursa; 2) una taxa d'intercanvi respiratori (RER) major que 1,1; 3) una freqüència cardíaca dins els 10 bpm del màxim predit, i/o 4) esgotament volitiu. Es registrà $v\dot{V}O_{2max}$ com la velocitat mínima a la qual l'esportista corria quan es produí $\dot{V}O_{2max}$ ^{7,17,18}. El pols d' O_2 es determinà dividint el $\dot{V}O_2$ absolut per la freqüència cardíaca corresponent. El llindar anaeròbic ($\% \dot{V}O_{2max}$) es determinà amb el mètode *V-Slope*^{7,19}.

Determinació de T_{max} . Després d'un escalfament de 10 min en una cinta (Technogym, DAK9EC, Itàlia), per determinar T_{max} s'augmentà la velocitat fins a $v\dot{V}O_{2max}$ i s'estimulà verbalment els participants a córrer tot el possible. Es registrà el temps d'esgotament en $v\dot{V}O_{2max}$ (T_{max})¹⁶. El test post-HIIT T_{max} es completà a la mateixa velocitat que la prova pre-HIIT T_{max} i en les mateixes condicions⁹.

Potència anaeròbica. La potència màxima (PPO) i la potència mitjana (MPO) es mesuraren amb una prova d'esforç màxim de 30 s (test de Wingate) en un cicloergòmetre (894E, Monark, Suècia) contra una resistència equivalent a $0,075 \text{ kp kg}^{-1}$ de massa corporal²⁰. Es subjectaren fortament els peus dels subjectes als pedals, l'altura del seient s'ajustà al confort màxim i eficiència de la pedalada. Els participants assoliren una velocitat de pedaleig màxima enfront de la resistència inicial de l'ergòmetre durant 2 s abans d'aplicar la càrrega completa i activar el comptador de revolucions electrònic. S'animà verbalment els participants a continuar la pedalada tant ràpid com fos possible durant el test de 30 s. El PPO de 5 s i l'MPO de 30 s es determinaren posteriorment mitjançant un sistema d'adquisició de dades^{7,16,17}.

Mostra de sang. Per als mesuraments hematològics s'extragué sang per punció venosa i es distribuí en tubs EDTA. Els recomptes d'hematies (BBC), hemoglobina (Hb), hematòcrit (Hc) i hemoglobina corpuscular mitjana (MCH) es mesuraren amb un comptador de cèl·lules automàtic (Diatron, Abacus C, Hongria).

Protocols HIIT i TET. L'estudi consistí en quatre intervencions d'entrenament (fig. 1). Les sessions d'entrenament de cada grup HIIT (H_{100} , H_{115} , H_{130}) consistiren en 60 s de cursa al $100\% v\dot{V}O_{2max}$ (és a dir, H_{100}), $115\% v\dot{V}O_{2max}$ (és a dir, H_{115}) i $130\% v\dot{V}O_{2max}$ (és a dir, H_{130}). El volum d'entrenament (repeticions/sessió) augmentà cada setmana (6 [1a setmana], 8 [2a setmana], 10 [3a setmana] repeticions/sessió) en els tres grups HIIT. En tots els grups HIIT, la recuperació entre els intervals s'establí en 3 min. Els participants del grup TET van fer tres sessions setmanals de 60 min a una intensitat equivalent al $75\% v\dot{V}O_{2max}$ ⁹. S'informà els partici-

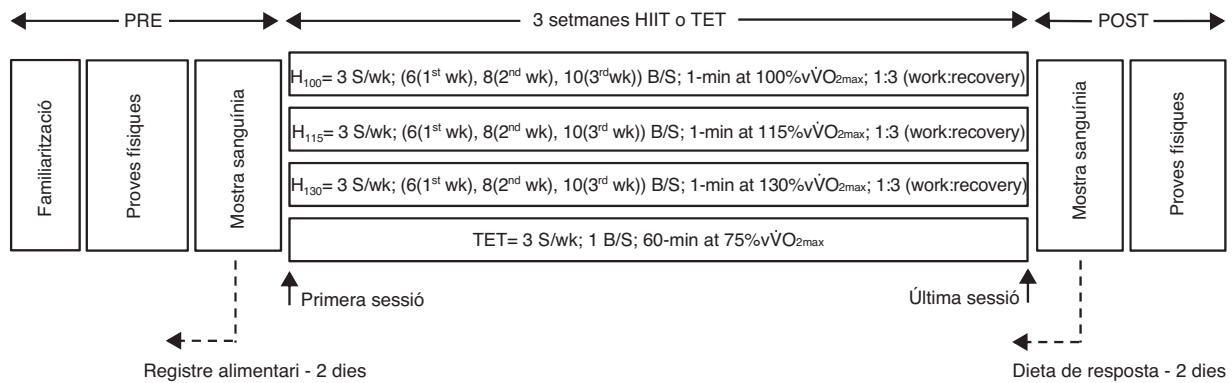


Figura 1 Descripció del protocol experimental. PRE: preexercici; POST: postexercici; HIIT: entrenament intervàlic a alta intensitat; TET: entrenament de resistència tradicional; wk, setmana; d: dia; S/wk: repeticions/setmana; B/S: períodes/sessió.

pants que no havien de fer entrenament de força o canviar la dieta durant l'estudi²¹. Les sessions d'entrenament de tots els grups foren supervisades directament per un investigador de l'estudi.

Anàlisi estadística

Els resultats s'expressen com a mitjana \pm DE. Per provar la normalitat de la distribució s'utilitzà el test de Shapiro-Wilk. Un ANOVA de mesures repetides, 2 factors (pre, post) per 4 (grups) comparà els canvis en les mesures dependents en el temps i entre els grups. El test post hoc de Tukey comparà les diferències entre grups quan s'observà una F-ratio significativa. Les anàlisis estadístiques es completaren amb Statistica, versió 8.0 (StatsSoft Inc., Tulsa, OK, EUA) i s'establí el valor $\alpha \leq 0,05$.

Resultats

A la taula 1 es presenten els canvis de les variables fisiològiques. Després de l'entrenament el $\dot{V}O_{2max}$ augmentà significativament en H₁₀₀ ($p = 0,01$) i H₁₁₅ ($p = 0,04$), però no en H₁₃₀ i TET, i no hi hagué diferència entre grups. L'HIIT augmentà el $\dot{V}O_{2max}$ en H₁₀₀ ($p = 0,04$), H₁₁₅ ($p = 0,05$) i H₁₃₀ ($p = 0,03$); tanmateix, no hi hagué canvis significatius a través del temps després de TET ($p > 0,05$). No es trobaren diferències entre grups en $\dot{V}O_{2max}$. Tampoc no hi hagué canvis significatius de pols O₂ i LA (% $\dot{V}O_{2max}$) en tots els protocols d'entrenament.

PPO no fou significativament diferent entre grups, però millorà significativament en H₁₀₀ ($p = 0,03$) i H₁₁₅ ($p = 0,05$), tot i no haver-hi canvis després d'H₁₁₅, H₁₃₀ i TET. MPO millorà significativament en H₁₀₀ ($p = 0,01$), H₁₁₅ ($p = 0,01$) i H₁₃₀ ($p = 0,01$) i es mantingué sense canvis després de TET ($p > 0,05$). No s'observaren diferències significatives entre grups en PPO i MPO.

El rendiment de la prova contrarellotge de 3.000 m fou significativament millor després d'H₁₀₀ ($p = 0,05$), H₁₁₅ ($p = 0,04$) i H₁₃₀ ($p = 0,004$), tot i que no hi hagué canvis significatius després de TET ($p > 0,05$) (taula 2), sense diferències entre grups. No hi hagué interacció significativa, temps o efecte de grup en la prova contrarellotge de 300 m

(taula 2). T_{max} augmentà significativament després d'H₁₀₀ ($p = 0,01$), mentre que no millorà després d'H₁₁₅, H₁₃₀ i TET.

No hi hagué interacció significativa, de temps o efectes de grup en cap de les respostes hematològiques (RBC, Hb, Hct i MCH) (taula 3).

Discussió

Aquest és el primer estudi que avalua l'HIIT en dones patinadores de velocitat en línia entrenades. Les troballes principals d'aquest estudi recolzen la nostra hipòtesi que l'HIIT podria proporcionar una millora més gran en els canvis de rendiment aeròbic i anaeròbic en comparació amb l'entrenament de resistència. Curiosament, l'HIIT realitzat a 100 i 115% $\dot{V}O_{2max}$ proporcionà respostes cardiorespiratòries superiors després de 3 setmanes d'entrenament.

En el present estudi, l'HIIT a 100 i 115% de $\dot{V}O_{2max}$ (és a dir, H₁₀₀ i H₁₁₅) fou capaç d'augmentar estadísticament l' $\dot{V}O_{2max}$, la qual cosa recolza troballes anteriors^{7,10,22}. Curiosament no hi hagué canvis en $\dot{V}O_{2max}$ en el grup que entrenava al 130% de $\dot{V}O_{2max}$ ni en el grup TET, cosa que suggereix que hi podria haver una intensitat d'entrenament òptima. La millora de $\dot{V}O_{2max}$ pot atribuir-se a un augment del subministrament d'oxigen (és a dir, augment del volum sistòlic) en l'entrenament dels músculs esquelètics i/o un augment de l'ús de l'oxigen^{9,10,16}. El pols d'O₂ és una mesura indirecta del volum sistòlic¹⁶ que no s'alterà en cap dels grups d'aquest estudi. D'altra banda, no s'observà cap canvi significatiu del volum sanguini en els grups HIIT. RBC i Hb no augmentaren en cap dels grups, cosa que indica que no hi ha canvis en la capacitat del transport d'oxigen en l'entrenament. Per tant, el volum sanguini i la capacitat de transport d'oxigen de la sang sembla que no impliquen els canvis de $\dot{V}O_{2max}$ en aquest assaig. Això recolza els estudis de Farzad et al.¹⁶ y Laursen et al.²¹, els quals no reportaren canvis en les variables hematològiques i el volum plasmàtic en resposta a un HIIT a curt termini. Aquests resultats suggereixen que l'HIIT pot haver augmentat l'extracció d'oxigen degut a un augment de les adaptacions perifèriques més que a les centrals^{10,22}. Com ho recolzen Gibala i McGee²³ en trobar un augment de la capacitat oxidativa muscular (avaluada utilitzant l'activitat màxima o contingut proteic

Taula 1 Valors preentrenament vs. postentrenament de les variables fisiològiques dels diferents grups d'entrenament

	Grup (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

Els valors s'expressen com a mitjana (±DE). AT (% $\dot{V}O_{2max}$): llindar anaeròbic (percentatge de $\dot{V}O_{2max}$); MPO: potència de mitjana de sortida; PPO: pic de potència màxima; $\dot{V}O_{2max}$: consum màxim d'oxigen; $\dot{V}O_{2max}$: velocitat a $\dot{V}O_{2max}$; $\dot{V}O_2/HR$: pols O_2 .

^a Significativament major que el valor preentrenament (p < 0,05).

Taula 2 Valors preentrenament vs. postentrenament en rendiment de 300 m, rendiment de 3.000 m i T_{max} en diferents grups d'entrenament

	Grup (n = 7 de cada)			
	H ₁₀₀	H ₁₁₅	H ₁₃₀	TET
Rendiment 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
Rendiment 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

Els valors s'expressen com a mitjana (±DE).

cursa de 300 m: cursa de 300 m de patinatge contrarellotge; cursa de 3.000 m: cursa de 3.000 m de patinatge contrarellotge; T_{max}: temps fins a l'extenuació de $\dot{V}O_{2max}$

^a Significativament major que el valor preentrenament (p < 0,05).

Taula 3 Valors preentrenament vs. postentrenament per a variables hematològiques en diferents grups d'entrenament

	Grup (n = 7 de cada)			
	H ₁₀₀	H ₁₁₅	H ₁₃₀	TET
<i>RBC (mill/mm³)</i>				
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
<i>Hb (g/dl)</i>				
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
<i>Hc (%)</i>				
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
<i>MCH (pg)</i>				
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

Els valors s'expressen com a mitjana (± DE).

Hb: hemoglobina; Hc: hematòcrit; MCH: hemoglobina corpuscular mitjana; RBC: glòbuls rojos.

d'enzims mitocondrials com el citrat sintasa i citocrom oxidasa) que oscil·la aproximadament entre un 15 i un 35% després de sis sessions d'HIIT més de 2 setmanes i indica que les adaptacions perifèriques són probablement responsables de l'augment de l'oxigen consumit, posteriorment al HIIT realitzat en un període de temps curt. En aquest sentit, MacPherson et al.²² demostraren que la millora post-entrenament del volum sistòlic i de la despesa cardíaca màxima (Q_{max}) només s'observaren després de l'entrenament de resistència i concloueren que la millora del $\dot{V}O_{2max}$ després d'HIIT és deguda a adaptacions perifèriques. Mecànicament, l'HIIT activa la proteïna quinasa activada (AMPK) i la proteïna quinasa activada per mitogen p38 (MAPK), ambdues conegudes per activar el receptor activat pel proliferador de peroxisoma (PGC-1 α) i han estat implicades en la biogènesi de l'exercici mitocondrial¹³. PGC-1 α coactiva els factors de transcripció que indiquen vies de senyalització que condueixen a adaptacions mitocondrials i metabòliques¹³. Una limitació del present estudi fou que no es van fer biòpsies musculars per determinar directament la capacitat oxidativa muscular. Estan justificades recerques futures que avaluïn la capacitat oxidativa en dones esportistes entrenades.

En aquest estudi la velocitat del $\dot{V}O_{2max}$ augmentà significativament després de 3 setmanes d'entrenament. Aquests resultats concorden amb investigacions anteriors que reporten millora del $\dot{V}O_{2max}$ (3 a 10%) després d'HIIT en subjectes de diferents capacitats aeròbiques⁹⁻¹¹. A més de l'augment del $\dot{V}O_{2max}$, poden ser responsables de la millora de $\dot{V}O_{2max}$, la millora de la capacitat anaeròbica²⁴, l'economia de la cursa⁹, la força muscular²⁵ i l'habilitat neuromuscular^{9,25}.

En el present estudi el rendiment de 3.000 m de patinatge millorà significativament tan sols després de 3 setmanes d'HIIT. Aquesta troballa està en la línia de recerques ante-

riors que revelaren la millora en la contrarellotge de 3.000 m^{9,11} i en la contrarellotge de 2.000 m de rem⁸ després d'HIIT. Ha estat demostrat que més del 92% de la variància del rendiment està relacionada amb el $\% \dot{V}O_{2max}$ en LA i la densitat capil·lar muscular²⁷. Això no obstant, aquest estudi no trobà canvis significatius en LA en cap dels grups d'entrenament en $\% \dot{V}O_{2max}$. Aquests resultats suggereixen que els mecanismes precisos sobre la millora del rendiment dels 3.000 m de patinatge després de diferents tipus d'HIIT utilitzats en el nostre experiment van ser multifactorials. Les dades d'altres estudis suggereixen que l'HIIT pot estimular una sèrie d'adaptacions que podrien millorar el rendiment a més de canvis de l'LA. Per exemple, una capacitat major d'amortiment muscular¹⁹, així com un augment de la capacitat de la bomba de Na⁺/K⁺ i/o l'activació de la unitat motora²⁶, podrien ser altres adaptacions potencials que podrien contribuir a una millora en el rendiment de la resistència seguint l'HIIT, com s'evidencià al nostre estudi. Tanmateix, aquests marcadors no van ser avaluats directament en aquest estudi.

T_{max} millorà significativament abans i després de l'entrenament en el grup H₁₀₀. En línia amb les nostres troballes, Esfarjani i Laursen⁹ demostraren que en corredors moderadament entrenats un programa de cursa basat en l'HIIT incrementà el temps fins a l'extenuació a $\dot{V}O_{2max}$ en un 32%. Smith et al.¹¹ reportaren un augment significatiu (33%) en T_{max} després de 4 setmanes d'HIIT. Una disminució de la taxa d'esgotament del glucogen i, per tant, una tolerància a l'exercici millor, així com una major capacitat d'amortiment muscular^{12,28}, són factors potencials que contribueixen a la millora de T_{max} .

En aquest estudi l'entrenament mostrà un augment significatiu de PPO i MPO. Aquestes troballes recolzen altres recerques^{7,16,20} que han reportat increments en el pic i la po-

tència anaeròbica mitjana després d'un període breu d'HIIT. Sheykhlovand et al.⁷ demostraren que PPO i MPO augmentaren després de 3 setmanes d'HIIT de rem (6, 7, 8, 9, 9, 9, 8, 7, 6 repeticions/sessió de la 1a a la 9a sessió, respectivament) $\times 60$ s a $100\% \dot{V}O_{2max}$, relació esforç/recuperació de 1:3. En un altre estudi, Farzad et al.¹⁶ demostraren que el pic i la potència anaeròbica mitjana augmentaren després de 4 setmanes d'HIIT de cursa (6×35 m de cursa total amb 10 s de recuperació entre cada esprint). La concentració de fosfocreatina muscular augmentada¹⁶, activitats d'enzims anaerobis²⁰ i un augment significatiu de les fibres glucolítiques oxidatives ràpides, juntament a una disminució del percentatge de fibres de contracció lenta¹⁶, poden contribuir a les troballes actuals.

Un limitació d'aquest estudi fou l'entrenament no específic. Stangier et al.⁵ investigaren la influència d'un programa de 8 setmanes de cursa o ciclisme en el rendiment del patinatge de velocitat en línia. Tant la cursa com el ciclisme foren suficients per millorar el rendiment específic de l'esport amb el temps, malgrat la possible disminució de la tècnica del patinatge. A més, és important tenir en compte que els patinadors de velocitat en línia sovint fan un entrenament no específic durant els mesos d'hivern, donat que les condicions climàtiques dificulten l'entrenament esportiu regular⁵, i utilitzen algunes modalitats més accessibles (per exemple, cinta de córrer).

Conclusions

Aquest estudi conclou que l'HIIT induí canvis significatius en les adaptacions aeròbiques, anaeròbiques i de rendiment en dones patinadores de velocitat en línia. Donat el volum d'entrenament marcadament inferior en els grups HIIT, el nostre resultat suggereix que la cursa basada en l'HIIT és de fet una estratègia de temps eficient per induir adaptacions fisiològiques ràpides i de rendiment comparables a TET. Curiosament, l'entrenament HIIT a 100 i $115\% \dot{V}O_{2max}$ mostrà millores cardiorespiratòries superiors en comparació amb l'entrenament a $130\% \dot{V}O_{2max}$. Malgrat les diferències de la millora cardiorespiratòria, tots els grups HIIT foren capaços de millorar significativament el rendiment de la prova contrarellotge de 3.000 m. Cal que s'investigui per determinar la intensitat i el volum ideals de l'entrenament, així com la forma d'incorporar l'HIIT en un pla anual d'entrenament periòdic per optimitzar el rendiment de dones patinadores de velocitat en línia. A més, estan justificades les recerques futures que revisin l'entrenament específic de l'esport.

Tenint en compte que aquests protocols d'entrenament tenen un volum molt baix, els patinadors de velocitat en línia i els seus entrenadors poden usar aquest tipus de prescripcions d'entrenament quan els patinadors de velocitat han d'assolir diversos pics durant un cicle anual, particularment quan l'objectiu és augmentar el rendiment en un període limitat.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Agraïments

Els autors agraeixen el professor Philip Bishop el seu valuós ajut científic i els participants pel seu temps i esforç.

Bibliografia

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. Sheykhlovand 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. Sheykhlovand 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.