

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ARTICLE ORIGINAL

Valoració de la freqüència cardíaca de recuperació després d'un programa d'entrenament de força/resistència en hipòxia

Jesús Álvarez-Herms^a, Sonia Julià-Sánchez^a, Francisco Corbi^b, Teresa Pagès^a, Ginés Viscor^{a,*}

^a *Departament de Fisiologia i Immunologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanya*

^b *Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Centre de Lleida, Universitat de Lleida, Lleida, Espanya*

Rebut el 22 de juny de 2011; acceptat el 21 de juliol de 2011; disponible en línia el 22 de setembre de 2011.

PARAULES CLAU

Hipòxia;
Freqüència cardíaca;
Entrenament de la
resistència

KEYWORDS

Hypoxia;
Heart rate;
Strength training

Resum

Objectiu: Dotze subjectes joves físicament actius van ser dividits en dos grups equilibrats per poder ser entrenats en hipòxia (HYP) i normòxia (NOR).

Material i mètodes: Els subjectes foren assignats a cada grup en base als resultats en una prova prèvia de salt en contramoviment de 60 s (CMJ60). Ambdós grups realitzaren durant 4 setmanes un entrenament idèntic de força (volum, intensitat, caràcter i condicions d'esforç) a les extremitats inferiors (esquat, mig esquat i salts).

Resultats: Ambdós grups van millorar en tots els casos. S'analitzà l'evolució temporal de la freqüència cardíaca durant la prova CMJ60 i el posterior període de recuperació de 3 min. El grup HYP (n = 5) reflecteix una millora de l'índex de recuperació de la freqüència cardíaca en comparació amb el grup NOR (prova t de Student) després de 2 (p = 0,03) i 3 (p = 0,05) minuts d'haver finalitzat el test de salts.

Conclusions: Concloem que un protocol d'entrenament de la resistència (12 sessions en 4 setmanes) de les extremitats inferiors en altitud simulada podria millorar l'índex de recuperació de la freqüència cardíaca en comparació amb el mateix entrenament realitzat a nivell del mar.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

Changes in heart rate recovery index after a programme of strength/endurance training in hypoxia

Abstract

Objective: To determine whether twelve sessions of resistance training on lower limbs at simulated altitude (2500 m) were efficient to elicit an improvement in heart rate recovery index in the first 3 min of recovery after a maximal jump test.

*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: gviscor@ub.edu (G. Viscor).

Materials and methods: Twelve young physically active subjects were divided in two balanced groups for training in hypoxia (HYP) and normal oxygen (NOR). The subjects were assigned to each group based on previous test results in the 60 s counter-movement jump test (CMJ60).

Results: Both groups performed identical strength training (volume, intensity, character and effort conditions) on the lower limbs (squats, half-squats and jumps) for 4 weeks. Both groups improved the measured parameters in all cases. We analyzed the time course of heart rate during the CMJ60 test and the subsequent 3 min recovery period. HYP group (n = 5) improved the heart rate recovery index as compared to NOR group (Student's t-test) at minute 2 ($P = .03$) and minute 3 ($P = .05$).

Conclusions: We conclude that a protocol of resistance training on lower limbs (12 sessions in 4 weeks) at a simulated altitude could improve heart rate recovery index compared to the same training performed at sea level.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducció

El control de l'evolució de la freqüència cardíaca en la fase de recuperació després de realitzar esforç físic és un mètode simple i no invasiu per valorar la salut cardiovascular i la condició física dels subjectes^{1,2}. S'ha trobat una relació directa entre un descens de la freqüència cardíaca màxima més ràpid en valors per sota les 130 pulsacions/min i una millora en l'adaptació cardiovascular³. Aquesta millora ha estat associada a diversos ajustaments fisiològics interns, de manera que una freqüència cardíaca més baixa en la fase de recuperació podria estar relacionada amb una reducció del retorn venós i de les necessitats sistèmiques⁴. L'increment de la freqüència cardíaca com a resposta a l'exercici va acompanyat d'una reducció del to vagal que s'incrementa posteriorment sobre el nivell basal una vegada finalitzat l'exercici⁵ mitjançant l'activació del sistema nerviós autònom, immediatament després de finalitzar l'activitat màxima⁶.

A més de la utilitat per avaluar la condició física, la freqüència cardíaca de recuperació (FCR) després d'esforç màxim en els minuts immediatament posteriors a la finalització de l'activitat també és un indicador vàlid de risc de mort sobtada durant l'exercici⁷. Degut al nombre relativament elevat de casos i a la notorietat d'aquests tipus de morts, la monitorització de l'FCR ha adquirit importància com a eina no invasiva de gran utilitat, per avaluar la salut cardiovascular i la condició física⁸.

A parer nostre, no hi ha estudis previs que hagin analitzat o avaluat l'evolució de l'FCR seguint un protocol d'entrenament de força resistència en altitud simulada en les extremitats inferiors, ni s'ha tractat l'impacte de l'estímul d'entrenament sobre el sistema cardiovascular.

La investigació científica sobre els beneficis de l'entrenament i l'exposició aguda, crònica o intermitent a la hipòxia en condicions d'altitud reals o simulades és extensa^{9,10}. L'interès per aquest tema sorgí degut als excel·lents resultats en els esdeveniments de resistència (amb metabolisme aeròbic predominant) aconseguits pels atletes africans que vivien en altituds moderades¹¹. La incursió d'aquests atletes als Jocs Olímpics de Mèxic el 1968 i la seva aclaparadora superioritat en aquests esdeveniments estimulà els estudis que tractaven de trobar una explicació a aquestes diferències quantitatives en el rendiment físic^{12,13}.

L'entrenament en altitud (real o simulat) és a bastament conegut per afavorir el rendiment aeròbic^{9,10}, però també hi ha evidències d'una millora de la capacitat anaeròbica¹⁴⁻¹⁶. En els últims anys, l'entrenament en hipòxia està disponible a més persones mitjançant les càmeres d'altitud (hipòxia hipobàrica) i tendes hipòxiques (hipòxia normobàrica). No s'han associat riscos per a la salut amb aquestes pràctiques¹⁷.

Els canvis hematològics i les adaptacions musculars són els principals beneficis de passar temps a altituds moderades^{18,19}, per tant, milloren el rendiment. L'increment de la massa de glòbuls vermells i, posteriorment, del transport d'oxigen i de la capacitat aeròbica²⁰ i les adaptacions específiques millorades del múscul esquelètic a l'entorn hipòxic podrien també afavorir la resistència anaeròbica²¹, ja que la millora del metabolisme anaeròbic en repòs pot incrementar la capacitat d'emmagatzemament i la depuració del lactat muscular²².

Aquí, estudiem la resposta del sistema cardiovascular després d'una prova anaeròbica màxima seguint un protocol d'entrenament de resistència de les extremitats inferiors sota un programa d'exposició intermitent en altitud simulada. Avaluem el descens de la freqüència cardíaca durant 3 min en haver finalitzat la prova. Les proves constaven de 60 s de salts continus amb contramoviment^{23,24} i es realitzaren a nivell del mar. L'FCR es considerà com a indicador de la millora de la condició física. L'índex de recuperació de la freqüència cardíaca (IRFC) es calculà mitjançant l'aplicació de la fórmula descrita per Lamiel-Luengo¹⁻³.

Materials i mètodes

El disseny d'aquest estudi és similar al d'un assaig clínic. El programa d'entrenament es realitzà en dos centres. L'edat

Taula 1 Dades antropomètriques dels subjectes (n = 12)

Edat (anys)	24,1 ± 4,21
Altura (cm)	174,3 ± 7,47
Massa corporal (kg)	68,9 ± 7,4
Índex de massa corporal	22,4 ± 1,81

dels subjectes oscil·lava entre els 19 i els 33 anys (taula 1). Tots eren estudiants o professors d'educació física que no practicaven esports d'elit, però tenien una condició física acceptable. Cap dels subjectes era fumador i tots estaven presumiblement sans. Tots els subjectes acceptaren participar en l'estudi de forma voluntària. Assistiren a dues sessions informatives abans de començar l'estudi. Durant la primera sessió, foren informats dels objectius de l'estudi, la naturalesa i els riscos de l'entrenament i les proves d'avaluació que se'ls aplicarien. L'estudi es dissenyà d'acord amb els estàndards mèdics del Comitè Ètic de la Universitat de Barcelona i els principis de la declaració d'Helsinki de 1975, revisada el 1983. A la segona sessió, els subjectes es familiaritzaren amb els procediments d'entrenament. En base als resultats de la prova inicial (PRE), se'ls assignà al grup d'hipòxia (HIP, n = 5) o normòxia (NOR, n = 7) per aconseguir l'homogeneïtat en el gènere i en la condició física⁶. Ambdós grups entrenaren en les mateixes condicions de temps i horari, volum de treball i material utilitzat, amb la única diferència de l'exposició a un entorn normòxic i hipòxic, respectivament. Tots els subjectes foren sotmesos a 12 sessions d'entrenament específiques en què mantingueren les característiques de l'esforç durant el programa, amb un nivell d'execució ràpid, però sense arribar a l'esgotament muscular. Cada sessió incloïa exercicis addicionals d'estiraments compensatoris (tendons, iliopsoas, quàdriceps, regió lumbar, abdomen, etc.). El protocol d'entrenament per al grup HIP es realitzà en una cambra hipobàrica en el campus de Bellvitge (Barcelona) a una pressió baromètrica de 760 hPa (570 mmHg), que equival a 2.500 m sobre el nivell del mar, corresponents a la pressió baromètrica geogràfica en la majoria dels centres d'entrenament d'altitud^{17,27}. El grup NOR entrenà en el centre de Montjuïc (Barcelona) de l'Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC) (75 m sobre el nivell del mar).

L'entrenament de força específic de les extremitats inferiors es programà amb l'objectiu de millorar-ne la capacitat anaeròbica làctica i, d'aquesta manera, la capacitat de salt i de temps de contacte^{24,25}. El programa d'entrenament incloïa 12 sessions (3 dies per setmana, 4 setmanes) orientades a entrenar específicament la força resistència de les extremitats inferiors mitjançant mitjos esquats, salts d'esquat i salts. Tots els subjectes van fer un escalfament estàndard en què realitzaren 4-5 min d'exercici aeròbic (principalment ciclisme estàtic) seguit d'estiraments estàtics i activitat dinàmica. Posteriorment, realitzaren una sèrie d'exercicis d'escalfament amb un volum de treball inferior que els exercicis individuals prescrits per a cada sessió d'entrenament. L'entrenament principal era d'intensitat elevada (amb un volum de treball prescrit de forma individual) i dissenyat per a ser adequat a la naturalesa de la prova de valoració del rendiment proposada (una de salts amb contramoviment durant 60 s). El volum de treball s'incrementà lleugerament durant les 2 primeres setmanes, però no assolí el nivell màxim. Es controlà la velocitat d'execució i els subjectes no separaren els talons de terra. Els temps de recuperació entre exercicis no es completà per induir la fatiga i l'acumulació de metabòlits i l'acumulació muscular de metabòlits (lactat, H⁺, etc.). L'objectiu fou millorar la capacitat anaeròbica làctica, la capacitat d'emmagatzemament muscular i la depuració sanguínia. Aquest entrenament pot descriure's com una successió

d'intervals intensos curts. Durant les 2 últimes setmanes del programa, l'entrenament principal es realitzà a una intensitat supramàxima però amb una marcada reducció del volum en comparació amb les 2 primeres setmanes. La velocitat d'execució màxima corresponia als salts amb càrrega (setmana 3) i als salts sense càrrega (setmana 4). Les recuperacions entre sèries també eren superiors. El volum aproximat era de 350-380 repeticions/setmana (setmana 1), 500-530 repeticions/setmana (setmana 2), 300-320 repeticions/setmana (setmana 3) i 200-220 repeticions/setmana (setmana 4). Un exemple de les sessions d'un individu representatiu podria ser:

- Setmana 1, una sèrie, 15 repeticions de 3 exercicis amb 1 min de recuperació entre exercicis; la sessió completa consistí en 3 d'aquestes sèries amb una recuperació intermèdia de 6 min.
- Setmana 2, dues sèries, amb 8 min de recuperació intermèdia, compostes de 4 exercicis (25 repeticions) amb 90 s de recuperació entre exercicis.
- Setmana 3, tres sèries, amb 5 min de recuperació, compostes de 5 repeticions de 10 exercicis amb 45 s de recuperació entre exercicis.
- Setmana 4, tres sèries, amb 6 min de recuperació, compostes de 2 exercicis de 10 salts amb 2 min de recuperació entre exercicis.

El material utilitzat en les sessions d'entrenament consistí en barres olímpiques i pesos lliures. S'utilitzaren metrònoms per controlar el ritme d'execució i la intensitat²⁶. La velocitat d'execució varià d'explosiva ràpida controlada a ràpida, seguint el paradigma d'entrenament creuat com a mètode més apropiat per millorar la capacitat del salt²⁵.

Per estudiar els canvis en la capacitat anaeròbica làctica, es realitzà una prova de salts continus durant 60 s (CMJ60 s). S'utilitzà una plataforma de contactes (Chronojump) seguint el protocol de Bosco^{23,24} per avaluar l'alçada mitjana i el temps de suspensió a l'aire de cada salt. La freqüència cardíaca es controlà durant la prova amb cardiotacòmetres estàndard (Polar S810i i RS800) i el període de recuperació i les dades van ser transferides mitjançant ports infrarojos a un PC. Les dades es processaren amb el programari Polar (Polar Protrainer 5.0). Es van recollir dades des de la intensitat d'implementació més alta i s'examinà l'FCR des de la freqüència cardíaca màxima assolida en finalitzar la prova CMJ 60 s. En acabar les proves, els subjectes es van ajeure en una llitera i van descansar durant 15 min fins que es van recuperar.

Per valorar l'FCR, s'aplicà la fórmula següent³:

$$IRFC = \frac{FC_{\max} - FC_i}{FC_{\max \text{ teòr}} / FC_{\max}}$$

d'on FC_{\max} és la freqüència cardíaca màxima assolida a la prova, FC_i és la freqüència del batec en els minuts 1, 2 i 3 del període de recuperació respectivament i $FC_{\max \text{ teòr}}$ és la freqüència cardíaca màxima teòrica de cada subjecte utilitzant el càlcul següent: homes: 220 - edat en anys, i dones: 226 - edat en anys.

Taula 2 Valors individuals de massa corporal i freqüència cardíaca basal (FCB) i pic (FCP) en normòxia i hipòxia

Codi de subjecte	Edat	Massa corporal	FCB	FCP
<i>Grup normòxia</i>				
NOR 1	20	70,6 (-0,8)	81 (-6)	182 (+1)
NOR 2	24	71 (-0,4)	77 (-6)	179 (+11)
NOR 3	24	64,6 (+0,6)	91 (-22)	186 (-1)
NOR 4	19	61 (-1,9)	73 (-7)	180 (+4)
NOR 5	33	74,3 (-0,9)	54 (-1)	176 (-1)
NOR 6	26	85,2 (-0,8)	71 (-13)	175 (+7)
NOR 7	25	79,0 (-0,5)	59 (+2)	188 (+7)
NOR mitjana	24,4 ± 4,6	72,2 ± 8,2	72,3 ± 12,7	179,8 ± 4,8
<i>Grup hipòxia</i>				
HIP 1	29	70,8 (0)	46 (-4)	149 (+13)
HIP 2	24	70,2 (-0,2)	56 (+8)	160 (+5)
HIP 3	22	59,2 (-1,8)	81 (-9)	184 (-1)
HIP 4	18	66 (+0,6)	74 (-11)	186 (-19)
HIP 5	27	59,0 (+1)	59 (-5)	161 (+1)
HIP mitjana	24,0 ± 4,3	65,0 ± 5,7	63,2 ± 14,1	168 ± 16,2

Els valors són pre-entrenament. Els parèntesis mostren la diferència en la prova post-entrenament.

Cada subjecte completà un formulari controlat de seguiment diari durant el programa d'entrenament. Es demanà als subjectes que realitzessin una comprovació diària de la freqüència cardíaca basal en despertar (en despertar, en repòs) durant 60 s. A més, en un intent per associar la percepció d'estrès individual amb un possible efecte de l'entrenament en variables fisiològiques quantificables, es demanà als subjectes que proporcionessin una anàlisi subjectiva de la percepció de fatiga acumulativa i la sensació de recuperació de la sessió d'entrenament anterior.

Anàlisi estadística

Es comparà l'IRFC entre els dos grups experimentals utilitzant la prova t de Student per a mostres aparellades (resultats pre i post a cada grup) i la prova t entre grups. Per

considerar el nivell de significació s'utilitzà $p < 0,05$. Els errors mijans i estàndard de la mostra es presenten mitjançant l'acrònim ± EE.

Resultats

A la taula 1 es mostren les dades antropomètriques dels subjectes que participaren a l'estudi.

La taula 2 mostra els canvis individuals de la massa corporal i les freqüències cardíaca basal i pic en comparar les dues proves realitzades abans i en finalitzar (diferència en parèntesi relativa a la prova anterior) el programa d'entrenament. La taula 3 presenta els valors de IRFC dels 3 primers minuts després de finalitzar la prova de salt. La taula 4 mostra l'anàlisi estadística de les dades de IRFC i els valors P corresponents i la seva significació estadística (fig. 1).

Taule 3 Índex de recuperació de la freqüència cardíaca (IRFC) als primers 3 min després de finalitzar la prova. Es presenten els valors dels grups de normòxia i hipòxia. Protocols pre-entrenament i post-entrenament

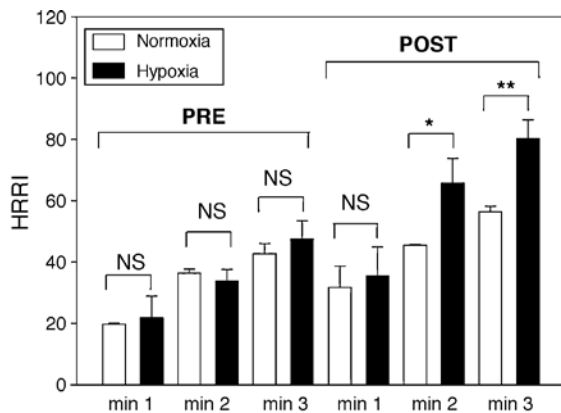
	NOR		HIP	
	Pre	Post	Pre	Post
FCB	72,2 ± 12,7	64 ± 6,76	63,2 ± 14,1	59 ± 10,2
FCP	179,8 ± 4,8	183,5 ± 10,21	168,0 ± 16,2	167,8 ± 8,8
IRFC 1 min	19,7 ± 0,5	32,55 ± 6,2	23,8 ± 7,0	37,4 ± 7,5
IRFC 2 min	35,7 ± 2,0	45,6 ± 0,2	33,7 ± 12,6	63,2 ± 10,5*
IRFC 3 min	43,5 ± 2,5	56 ± 2,2	46,88 ± 14,9	75,6 ± 14,6*

FCB: freqüència cardíaca basal; FCP: freqüència cardíaca pic; IRFC 1 min, IRFC 2 min, IRFC 3 min: índex de recuperació de la freqüència cardíaca als minuts 1, 2 i 3 després de finalitzar la prova; NOR: grup normòxia; HIP: grup hipòxia.

* Significació estadística entre NOR i HIP en les dades post-entrenament.

Taula 4 Anàlisi estadística (prova t de Student) entre els grups sobre la base de les dades pre-entrenament i post-entrenament. El nivell de significació estadística (SS) es considerarà $p < 0,05$

Prova t pre-entrenament NOR versus HIP			Prova-t post-entrenament NOR versus HIP		
Temps (min)	Valor P	SS	Temps (min)	Valor P	SS
1	0,22	NO	1	0,38	No
2	0,46	NO	2	0,03	Sí
3	0,41	NO	3	0,02	Sí
Prova t aparellada PRE versus PRO en el grup normòxia			Prova t aparellada PRE versus PRO en el grup hipòxia		
Temps (min)	Valor P	SS	Temps (min)	Valor P	SS
1	0,07	NO	1	0,04	Sí
2	0,01	SÍ	2	0,005	Sí
3	0,02	SÍ	3	0,005	Sí



* Significació estadística entre grups post-entrenament en l'índex de recuperació de la freqüència cardíaca el minut 2 ($p = 0,03$).
 ** Significació estadística entre grups post-entrenament en l'índex de recuperació de la freqüència cardíaca el minut 3 ($p = 0,02$).

Figura 1 Significacions estadístiques entre grups en el post-entrenament.

Canvis de la massa corporal

El grup NOR registrà un descens del pes corporal després del programa d'entrenament ($1,8 \pm 0,74\%$). En el grup HIP es trobà la tendència inversa, un increment lleu del pes corporal ($0,5 \pm 1,07\%$). Tanmateix, aquestes diferències no foren significatives a nivell estadístic.

Valors de freqüència cardíaca basal i pic

Amb alguna variabilitat individual, la freqüència cardíaca basal mostrà un descens en ambdós grups després del programa d'entrenament. En el grup NOR hi hagué un descens significatiu a nivell estadístic de $-11,5\%$ ($p = 0,045$) de PRE a POST, mentre que en el grup HIP es trobà un canvi no significatiu a nivell estadístic ($p = 0,273$) de $-5,2\%$. La freqüència cardíaca pic (FCP) en ambdós grups no mostrà

canvis rellevants o significatius a nivell estadístic en comparar les dades PRE versus POST.

IRFC

La taula 4 mostra la significació estadística en comparar els valors de l'IRFC en condicions de pre-entrenament i post-entrenament entre els grups NOR i HIP (panel superior). No es detectaren diferències significatives a nivell estadístic entre els grups NOR i HIP en condicions de pre-entrenament. No obstant això, hi hagué una millora significativa en els minuts 2 ($p = 0,03$) i 3 ($p = 0,05$) en el grup HIP en la prova post-entrenament en comparació amb el grup NOR.

Ambdós protocols d'entrenament (normòxia i hipòxia) milloraren l'IRFC (panel inferior). En el grup HIP, aquesta millora fou significativa a nivell estadístic durant els 3 primers minuts, però només en els minuts 2 i 3 en el grup NOR.

Discussió

Els subjectes foren assignats correctament als dos grups per homogeneïtzar la mostra, tal com pot observar-se en examinar els valors inicials de forma física (comparació de les dades PRE entre els dos grups). A més, el nostre protocol d'entrenament de força/resistència (12 sessions, 4 setmanes, 3 dies per setmana) millorà l'IRFC en els subjectes NOR i HIP. D'acord amb els resultats obtinguts, conclouem que la força resistència de les extremitats inferiors millorà en hipòxia i normòxia, i augmentà, per tant, la capacitat de salt de tots els subjectes. Tanmateix, aquesta millora fou més gran en els subjectes entrenats en hipòxia. Els nostres resultats mostren que l'IRFC del grup HIP fou millor que la del grup de control (NOR). Es detectaren diferències estadístiques significatives entre els grups en els minuts 2 ($p = 0,03$) i 3 ($p = 0,05$) del post-entrenament. El grup HIP mostrà valors de recuperació més alts, i gairebé assolí valors basals en el minut 3. Aquesta troballa indica una millora de l'adaptació cardio-

vascular a l'exercici i, en conseqüència, una forma física millor^{2,7,14}.

L'entrenament en altitud produeix una major intensitat en el punt de partida de l'entrenament, particularment durant els canvis d'enzims musculars específics, i d'aquesta manera en resulta un increment de la intensitat de la carrera en l'entrenament^{24,26}. Proposem que la millora observada en l'IRFC es deu a un estímul de l'entrenament superior a altitud simulada, malgrat que s'apliqui la mateixa quantitat de treball i intensitat relativa que a nivell del mar. D'aquesta manera, amb el mateix grau d'esforç que a nivell del mar, l'entrenament en un entorn hipòxic incrementa la intensitat de l'exercici, des de punts de vista subjectius i objectius. L'estímul addicional d'hipòxia pot provocar respostes adaptatives més intenses a nivell muscular mitjançant l'increment de la intensitat relativa de l'esforç. Així, segons els nostres resultats, un programa d'entrenament de força resistència realitzat en hipòxia moderada podria ser tant útil per millorar la forma física i l'FCR dels atletes com un entrenament igual en normòxia. Per tant, hem de considerar que la grandària de la mostra fou massa reduïda per establir conclusions definitives i caldria realitzar més estudis.

L'exercici físic en hipòxia implica una sèrie de canvis cardiovasculars. Hi ha un increment de la freqüència cardíaca en repòs i una major hiperventilació per compensar la reducció de l'oxigen disponible²⁸. Per tant, si més no parcialment, l'exercici d'alta intensitat no aconsegueix freqüències cardíques tant altes com a nivell del mar²⁹. La hipòxia afecta directament el to vascular dels vasos de resistència pulmonar i sistèmica i incrementa la ventilació i l'activitat simpàtica mitjançant l'estimulació de quimiorceptors perifèrics³⁰. Com a resultat de la hipòxia aguda, el cor incrementa la freqüència cardíaca (en repòs i durant l'exercici), la contractilitat miocàrdica i la despesa cardíaca. L'increment de la freqüència cardíaca està directament relacionat amb una millora de l'activitat simpàtica i un descens de l'activitat vagal. Així, la freqüència cardíaca és superior en altitud, tot i que la freqüència cardíaca màxima es inferior que en normòxia. La millora de l'activitat neuronal parasimpàtica justifica la reducció de la freqüència cardíaca durant l'exercici. A més, en hipòxia aguda, les artèries coronàries epicàrdiques es dilaten i s'incrementa de sobte la contractilitat cardíaca³¹.

La millora de la resposta cardiorespiratòria observada en el grup HIP podria ser deguda a una major intensitat relativa de la mateixa quantitat de treball que en el grup NOR.

La reducció de la freqüència cardíaca post-exercici és típicament exponencial³².

La reducció durant el primer minut està marcada per variables com el bloqueig parasimpàtic. Contràriament, a la segona fase (després del primer minut), es considera que actua la reducció gradual de l'activitat simpàtica i l'eliminació constant de metabòlits plasmàtics (adrenalina, lactat, H⁺, etc.) causada per l'exercici d'alta intensitat³³. Sobre la base d'aquesta idea, el protocol d'entrenament canvià de forma significativa el descens de l'FCR del grup HIP enfront al grup NOR durant el post-entrenament. Aquesta observació podria atribuir-se a la marcada activitat simpàtica i l'increment de l'eliminació de metabòlits plasmàtics, tal com es reflectí en el grup HIP mitjançant la

millora del temps de IRFC. Així, l'eliminació de metabòlits plasmàtics i l'activitat simpàtica s'alterà després de dotze sessions d'hipòxia intermitent.

La valoració de l'FCR des de l'exercici màxim en els primers minuts després de realitzar l'exercici és un càlcul vàlid del risc de mort sobtada. Degut a l'increment del nombre de casos de mort sobtada, aquest enfocament proporciona una eina útil no invasiva per valorar la salut i la forma física dels subjectes⁸.

S'han proposat diferents protocols per mesurar l'esforç percebut, estretament relacionat amb els efectes fisiològics de l'entrenament. De fet, s'ha mostrat que els factors fisiològics tenen més influència que els psicològics en la percepció de la fatiga, ja que l'entrenament canvia la manera de percebre la tensió³⁴.

En el nostre cas, la percepció subjectiva de l'esforç fou superior en el grup HIP (dades no publicades), fet que recolza la hipòtesi abans descrita. Com que no és possible valorar l'efecte de l'autosuggestió o d'un placebo i també és impossible realitzar un estudi experimental doble cec (els subjectes saben si estan entrenant en la càmera o no), només podem comparar dos grups diferents²⁷.

Un efecte negatiu important de l'entrenament en altitud en determinades modalitats esportives és la limitació de la intensitat de la quantitat de treball (relativa a nivell del mar) i la dificultat de mantenir intensitats altes d'execució motora. Ambdós factors permeten la realització d'entrenaments específics vàlids en hipòxia. S'ha argumentat que la dificultat de l'execució motora, a altitud real o simulada, redueix l'eficàcia de la coordinació motora necessària per implementar mesures tècniques específiques (gambada, braçada, cadència, etc.) degut a la dificultat de mantenir les mateixes intensitats que a nivell del mar³⁵. En el nostre cas, la realització de salts d'esquat es mantingué i es realitzaren tècnicament de la mateixa manera en els dos grups.

Concloem que un programa d'entrenament físic d'alta intensitat (força/resistència) (4 setmanes, 3 dies per setmana) en hipòxia millora l'IRFC en els 3 primers minuts després de finalitzar l'exercici comparat amb el mateix entrenament a nivell del mar. Els nostres protocols d'entrenament en hipòxia han permès una millor recuperació des de l'estimulació màxima i també han millorat la forma física i el rendiment. A més, la percepció individual subjectiva de l'esforç (més gran en HIP que en NOR) recolza la hipòtesi d'un increment de la intensitat relativa de l'esforç en l'entrenament del grup a altitud simulada.

Els efectes fisiològics i psicològics de l'entrenament en una càmera hipobàrica podrien explicar la millora del rendiment del grup HIP en comparació amb el mateix entrenament del grup NOR. A més, caldria tenir en compte el possible creixement de la intensitat relativa de l'esforç realitzat en hipòxia, per avaluar de forma objectiva la millora del rendiment. Considerem que les nostres conclusions poden contribuir a noves aplicacions en el camp de l'entrenament d'alt rendiment dels esportistes.

Presentació

Les dades de la freqüència cardíaca de la fase de recuperació foren presentades al VI Congrés Internacional de la

Asociación Española de Ciencias del Deporte, a Elx, el 6 d'octubre de 2010. Es presentà un pòster de 10 minuts, amb preguntes obertes, d'11 a 11.15.

Conflicte d'interessos

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

Agraïments

Aquest estudi no hauria estat possible sense la generosa col·laboració de tots els voluntaris. Els autors també volen agrair el Dr. Casimiro Javierre (Facultat de Medicina, UB) i a Rubén Martínez (HUB) el seu ajut i supervisió mèdica. Els autors també agraeixen el Sr. Ignacio Montoya (ZR Barcinova) i el Sr. Santiago Blázquez (Fibre Medic) la cooperació i el material prestat.

Bibliografia

- Calderon FJ, Cruz E, Montoya J. Estudio comparado de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de fondo: triatletas, atletas, nadadores y ciclistas. Área de fisiología del ejercicio-Rendimiento deportivo, 261. I Congreso de la Asociación deportiva de Ciencias del deporte. Universidad de Extremadura.
- Darr K, Basset B, Morgan B, Thomas D. Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 1988;254:H340-3.
- Calderón Montero FJ, Brita Paja JL, González C, Machota V. Estudio de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de élite. *Revista Española de la Medicina de la Educación Física y el Deporte.* 1997;6:101-5.
- Savin WM, Davidson DM, Haskell WL. Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *J Appl Physiology.* 1982;53:1572-6.
- Imai K, Sato H, Hori M. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994;24:1529-35.
- Arai Y, Saul JP, Albrecht P. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol.* 1989;256: H132-41.
- Cole C, Blackstone E, Pashkow F, Snader C, Lauer M. HRR immediately after exercise as a predictor of mortality. *Hellenic Endocr Soc.* 1999;341:1351-7.
- Jouven X, Empana JP, Schwartz P, Desnos M, Courbon D, Ducimetiere P. Heart rate recovery during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med.* 2005;352:1951-8.
- Levine BD. Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt Med Biol.* 2002;3:177-93.
- Martino M, Myers K, Bishop P. Effects of 21 days training at altitude on sea-level anaerobic performance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;27:55.
- Weston AR, Mbambo Z, Myburgh KH. Running economy of African and Caucasian distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1130-4.
- Frisancho AR, Martinez C, Velasquez T, Sanchez J, Montoye H. Influence of developmental adaptation on aerobic capacity at high altitude. *J Appl Physiol.* 1973;34:176-80.
- Kollias J, Powers SK, Thompson D. Work capacity of longtime residents and newcomers to altitude. *J Appl Physiology.* 1968; 64:1486-92.
- Bayley D, Davies B. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *Br J Sports Med.* 1997;31:183-90.
- Hendriksen IJ, Meeuwse T. The effect of intermittent training in hypobaric on sea level a cross over study in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88 4-5:396-403.
- Ogida F, Tobata T. The effects of high-intensity intermittent training under a hypobaric hypoxia condition on anaerobic capacity and maximal oxygen uptake. En: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP, editors. *Biomechanics and Medicine of Swimming VIII.* Jyväskylä, Finlandia: Gummerus Printing; 1999. p. 423-7.
- Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine B. "Living high, training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol.* 2001;91:1113-20.
- Burtscher M, Nachbauer W, Baumgartl P, Philadelphia M. Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74: 558-63.
- Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol.* 1997;83:102-12.
- Brugniaux JV, Schmitt L, Robach P, Nicolet G, Fouillot JP, Moutereau S, et al. Eighteen days of "living high, training low" stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *J Appl Physiol.* 2006;100:203-11.
- Bonnetti DL, Hopkins WG, Kilding AE. High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform.* 2006;1:246-60.
- Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden MJ, Clark SA, et al. Live high:train low increases muscle buffering capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand.* 2001;173:275-86.
- Bosco C, Luhtawen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol.* 1983;50:273-82.
- Bosco C, Komi PV, Thyhany G, Feleke G, Apor P. Mechanical power test and fibre composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol.* 1983;51:129-35.
- Verhoshansky Y. Teoría y metodología del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2001.
- Moras G, Rodríguez-Jimenez S, Busquets A, Tous-Fajardo J, Pozzo M, Mujika I. A Metronome for controlling the mean velocity during the bench press exercise. *J Strength Cond Res.* 2009;23:926-31.
- Beedie CJ. Placebo effects in competitive sports: qualitative data. *J Sports Sci Med.* 2007;6:21-8.
- Heistad DD, Abboud FM. Circulatory adjustments to hypoxia. *Circulation.* 1980;61:463-70.
- Bärtsch P, Gibbs SR. Effect of altitude on the heart and the lungs. *Circulation.* 2007;116:2191-202.
- Perini R, Orizio C, Comandè A, Castellano M, Beschi M, Veicsteinas A. Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;58:879-83.
- Buchheit M, Papelier Y, Laursen P, Ahmaidi S. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate or heart rate variability? *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007;293:H8-10.
- Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2000;10:123-40.
- Platonov V. La adaptación en el deporte. Barcelona: Paidotribo; 1991.
- Borg G, Borg E. A new generation of scaling methods: level-anchored ratio scaling. *Psychologica.* 2001;28:15-45.
- Amann M, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA. Inspiratory muscle work in acute hypoxia influences locomotor muscle fatigue and exercise performance of healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007;293:R2036-45.