

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Avaluació de l'adaptació de ciclistes a un entrenament d'alta intensitat amb diferents estratègies d'intervenció

Pelayo Arroyo García^{a,*}, Carmen Vaz Pardal^b, Francisco Javier Ordoñez Muñoz^c
i Manuel Rosety Rodríguez^c

^aEscuela Profesional de la Medicina de la Educación Física y Deporte, Universidad de Cádiz, San Fernando, Cadis, Espanya

^bCentro Andaluz de Medicina del Deporte, San Fernando, Cadis, Espanya

^cDepartamento de Anatomía y Embriología Humanas, Facultad de Medicina, Universidad de Cádiz, Cadis, Espanya

Rebut el 12 d'octubre de 2011; acceptat el 22 de novembre de 2011

PARAULES CLAU

Alta intensitat;
Antioxidants;
Entrenament
regeneratiu;
Recuperació;
Entrenament; Ciclistes

Resum L'entrenament regeneratiu pren cada vegada més interès tant per part dels entrenadors com dels esportistes, perquè pot evitar situacions de sobrecàrrega o sobreentrenament i millorar el rendiment. Així, l'objectiu d'aquest estudi preliminar fou avaluar l'adaptació d'un mateix protocol d'entrenament d'alta intensitat unit a diferents estratègies de recuperació sobre variables bioquímiques i de rendiment de ciclistes amateurs. Quinze ciclistes homes d'una mitjana d'edat de $36,18 \pm 5,30$ anys foren assignats, de forma dirigida, a 3 grups diferents: regeneratiu plus (RP, $n = 6$): entrenament intervàlic intensiu (EII) combinat amb sessions de baixa intensitat ($50\% \text{VO}_{2\text{max}}$) més suplementació d'antioxidants; regeneratiu (R, $n = 5$): EII combinat amb sessions de baixa intensitat al $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$; control (C, $n = 4$): descans. Es realitzà un EII combinat amb sessions de baixa intensitat durant 20 dies. Abans i després d'aplicar el protocol es mesuraren els paràmetres bioquímics (bicarbonat [HCO_3], lactat [La], pH i pressió parcial del diòxid de carboni [PCO_2]) i els paràmetres de rendiment (potència màxima [P_{max}], resistència aeròbica [RA] i consum màxim d'oxigen [$\text{VO}_{2\text{max}}$]). S'observà un augment significatiu de la potència màxima aplicada, sense diferències en les diverses situacions estudiades. Quant a la resistència aeròbica i $\text{VO}_{2\text{max}}$, no s'observaren millores significatives en cap dels grups. Respecte a l'estat metabòlic, només s'observà una concentració menor de La (no significativa) després d'aplicar el protocol al grup RP. Els resultats suggereixen que aquest protocol unit o no a la suplementació d'antioxidants podria ser una estratègia adequada per assimilar determinades càrregues d'entrenament.

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

*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: pelayo.arroyo@uca.es (P. Arroyo García).

KEYWORDS

High intensity;
Antioxidants;
Regenerative training;
Recovery; Training;
Cyclists

Assessment of adapting to high intensity training by cyclists using different strategies

Abstract Regenerative training is very important for trainers and athletes as it could avoid problems of overreaching or overtraining, as well as improve performance. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of a high intensity training protocol combined with recovery sessions on biochemical and performance parameters in amateur cyclists. A total of 15 male cyclists with a mean age of 36.18 ± 5.30 years were assigned to one of three groups: regenerative-plus (RP): high intensity training (EII) with low intensity training ($50\% \text{VO}_{2\text{max}}$) and antioxidant supplements; regenerative (R): EII with low intensity training to $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$; control (C): rest. They performed an EII combined with low intensity recovery sessions for 20 days. Several biochemical parameters (bicarbonate $[\text{HCO}_3^-]$, lactate $[\text{La}]$, pH and partial pressure of carbon dioxide $[\text{PCO}_2]$) and performance parameters (maximum power $[\text{P}_{\text{max}}]$, aerobic capacity $[\text{RA}]$ and maximum uptake oxygen $[\text{VO}_{2\text{max}}]$) were measured before and after applying the protocol. Significant increases were observed in the maximum power with no differences between the different situations. No significant changes were seen in the endurance or $\text{VO}_{2\text{max}}$ in either group. As regards metabolic state, a lower La concentration (not significant) was observed after application of protocol in group RP. It may be concluded that this protocol with or without antioxidant supplements could be an option to assimilate particular training loads.

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

Introducció

Els darrers anys, el desenvolupament científic de les ciències de l'activitat física i l'esport i la medicina de l'esport s'ha caracteritzat per una acumulació irrefrenable de nous fets experimentals, pel descobriment de noves regles fonamentals i per l'aparició de noves concepcions i teories. Així, un coneixement major en aquest camp ha permès augmentar la millora de la salut de l'esportista i la seva capacitat de rendiment, amb una millor assimilació de les càrregues, i adaptant-s'hi amb més facilitat, cosa que ha permès assolir un nivell de desenvolupament més alt de les qualitats motores.

La investigació científica en el camp de l'esport, en què els controls de rendiment i la utilització de diversos tests han servit com a mètode científic de recerca, han contribuït a capacitar l'entrenador per captar millor l'estat d'entrenament i desenvolupament de l'esportista, a més de ser capaç d'organitzar i planificar l'entrenament de manera que hi hagi un equilibri entre càrrega d'entrenament i recuperació.

L'esportista d'elit es caracteritza perquè té capacitat per assimilar grans volums de treball i recuperar-se. Sobrecarregar els esportistes pot ser un requisit previ a l'èxit de la seva carrera esportiva i, per tant, sovint és utilitzat per entrenadors i atletes. Tot i amb això, cal tenir sempre cura de les càrregues que se'ls aplica, ja que, tal com observaren Halson et al.¹, només en 2 setmanes d'entrenament intervàlic intensiu (EII) es pot observar una disminució de la freqüència cardíaca màxima (FC_{max}), una disminució de la influència simpàtica o parasimpàtica i una disminució del nombre i de la densitat de receptors adrenèrgics, cosa que ocasiona una capacitat menor de la

potència màxima (P_{max}), així com un empitjorament dels resultats del consum màxim d'oxigen ($\text{VO}_{2\text{max}}$) si el temps de recuperació és limitat o està mal distribuït en la planificació de l'entrenament.

Actualment a l'àmbit científic hi ha un gran interès per aprofundir en l'entrenament regeneratiu, donat que pot ser un factor decisiu que pot conduir un atleta a ser capaç d'assimilar bé les càrregues d'entrenament o contràriament patir la síndrome de sobreentrenament. Sembla que la utilització de la recuperació activa enfront de la recuperació passiva per regenerar l'organisme de l'esportista segueix sent un misteri²⁻⁵.

En aquest sentit, Noakes⁶ argumenta que equilibrar períodes de recuperació completa amb períodes de recuperació activa millora els processos de recuperació, cosa que a la vegada pot permetre dur a terme un gran esforç durant uns entrenaments durs o en una competició.

Actualment falta establir unes normes respecte a l'entrenament regeneratiu, com: quin mètode cal utilitzar; durada de la recuperació, tant passiva com activa; intensitat òptima; freqüència, etc. Per tant, se suggereix aprofundir en la recerca per determinar quin mètode de recuperació és el més adequat després d'una sessió d'entrenament, competició o període d'entrenament d'alta intensitat⁷. Les recomanacions per dissenyar els règims adequats de recuperació són molt escasses, i pràcticament totes es basen en consideracions teòriques i experiències adquirides en la pràctica⁸.

L'objectiu d'aquest estudi fou avaluar l'adaptació d'un programa d'entrenament combinat amb diferents metodologies de recuperació i, d'aquesta manera, avançar per poder resoldre aquestes incògnites.

Material i mètodes

Aquest estudi es pogué desenvolupar gràcies a la col·laboració entre el Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD) de San Fernando (Cadis), l'Institut MEDSPORT S.L (Cadis) i la Facultad de Medicina de la Universidad de Cádiz. Des d'un punt de vista bioètic, el nostre projecte respectà escrupolosament allò que disposa la Llei 14/2007, de 3 de juliol, d'Investigació Biomèdica i fou aprovat pel Comité de Ética Institucional de la Universidad de Cádiz.

Subjectes

Van ser estudiats 15 ciclistes homes procedents del Club Ciclista Benacazón (Sevilla) i del Club Ciclista Portuense (Cadis) de nivell amateur, d'una mitjana d'edat de $36,18 \pm 5,30$ anys, que competien a nivell regional i nacional (taula 1). Dedicaven entre 10 i 12 h a la setmana a l'entrenament i no havien rebut mai assessorament per seguir un pla d'entrenament personal per part de llicenciats en educació física ni metges de l'esport.

Després d'una reunió en què s'informà els participants dels objectius i finalitat de l'estudi, de les proves que calia fer, del lloc en el qual es desenvoluparien les activitats i de la durada del protocol, s'entregà als subjectes un consentiment informat, elaborat pel propi equip investigador, que firmaren tots per poder-hi participar.

Abans d'iniciar l'estudi, i per tal d'assegurar una pràctica segura i saludable, tots els participants foren sotmesos a una revisió mèdica que consistí en una història clínica amb antecedents familiars i personals, un examen físic i la realització de proves complementàries: electrocardiograma (ECG) en repòs, impedanciometria, espirometria i presa de la pressió arterial. Els resultats foren normals, i entre els participants no es trobà cap contraindicació a la pràctica esportiva.

Tots els subjectes que participaren a l'estudi complien els criteris d'inclusió següents (en cas contrari, n'eren exclosos):

- No detectar cap contraindicació per a la pràctica esportiva en les proves realitzades en la revisió mèdica.
- No havien de seguir al mateix temps un programa de suplementació diferent al de la recerca.
- No havien d'haver practicat, almenys les dues setmanes anteriors a l'estudi, entrenament de tipus anaeròbic.
- Havien d'haver seguit, almenys durant un any, una rutina d'entrenament prèvia a l'estudi.

Els participants foren distribuïts de forma dirigida en 3 grups ajustats a l'edat, a l'índex de massa corporal (IMC) i al nivell d'entrenament:

- Grup regeneratiu plus (RP) (n = 5): dugué a terme l'entrenament regeneratiu juntament amb suplementació d'antioxidants.
- Grup regeneratiu (R) (n = 6): només realitzà entrenament regeneratiu.
- Grup control (C) (n = 4): descans.

Disseny experimental

Protocol d'activitat física

En el disseny del protocol d'activitat física es respectaren els principis de l'entrenament esportiu per tal que les adaptacions es produïssin sense riscos. S'ajustà la densitat de la càrrega (temps de treball:temps de descans) per poder dur a terme sessions d'entrenament d'alta intensitat per tal de provocar adaptacions que milloressin el rendiment de l'esportista i evitar els possibles riscos de caure en un estat crònic de sobrecàrrega o síndrome de sobreentrenament.

Durant l'escalfament i la tornada a la calma es donà molta importància a la realització d'exercicis i estiraments, de cara a reduir el risc de patir lesions osteomusculars que poguessin erosionar la imatge saludable de l'esport a la nostra societat. Es tingueren en compte les aportacions d'un grup multidisciplinari en què, a més de metges de l'educació física i l'esport, participaren llicenciats en educació física.

El protocol d'intervenció comprengué un total de 20 dies (fig. 1). Els 3 primers dies es destinaren a un entrenament per un terreny pla, d'una hora de durada, a una intensitat del 60% VO_{2max} per assolir unes condicions similars de tots els participants⁸.

Després d'aquests 3 dies seguí un període d'entrenament de 17 dies en què es realitzà una metodologia d'entrenament d'alta intensitat i curta durada combinada amb sessions de recuperació. La mitjana de la durada per sessió fou de 124 min, i només hi hagué un dia (8è dia) de descans total en tots els grups. Les sessions de baixa intensitat (50% VO_{2max}) i curta durada (1 h) es realitzaren en terreny pla tant en el grup RP com en l'R; el grup C tenia sessions de descans total i només podia realitzar activitats de la vida diària⁸.

En el protocol d'intervenció la distribució de la càrrega s'establí de la manera següent⁸:

- El 20% s'invertí en entrenaments a una intensitat del 55% VO_{2max} .
- El 65% s'invertí en entrenaments a una intensitat del 65% VO_{2max} .
- El 10% s'invertí en entrenaments a una intensitat del 75% VO_{2max} .
- El 5% s'invertí en entrenaments a una intensitat del 90% VO_{2max} .

La intensitat d'entrenament de les diferents sessions (basada en la freqüència cardíaca) s'establí a partir de percentatges del VO_{2max} gràcies a la relació existent entre ambdós paràmetres⁹ (obtinguda en la prova d'esforç pre-protocol). El VO_{2max} està considerat un indicador vàlid de la funció integrada de la respiració i dels sistemes cardiovascular i muscular durant l'exercici i té un paper determinant en el rendiment¹⁰.

Suplementació d'antioxidants

La metodologia utilitzada en el nostre estudi, tant pel que fa a la durada com a la dosi administrada, fou escollida d'un estudi de Packer et al.¹¹, que consistí en administrar un cop al dia, durant l'esmorzar, 500 mg de vitamina C i 400 U.I. de vitamina E. Es considera que és una recomana-

Taula 1 Característiques físiques inicials dels subjectes (mitjana $\pm$ desviació estàndard)

	Grups		
	RP	R	C
Pes (kg)	72,9 $\pm$ 5,62	73,43 $\pm$ 4,92	71,75 $\pm$ 5,5
Talla (cm)	174,33 $\pm$ 4,84	174 $\pm$ 2,28	177 $\pm$ 4,69
IMC	24,61 $\pm$ 1,32	24,27 $\pm$ 1,94	22,91 $\pm$ 1,88
Edat	33,83 $\pm$ 2,13	35,5 $\pm$ 6,22	33,25 $\pm$ 6,5

IMC: índex de massa corporal.

ció raonable per als atletes que entrenen a una intensitat moderada-forta.

En el nostre protocol el grup RP rebé un suplement durant l'esmorzar els dies corresponents a les sessions de baixa intensitat (50% $\text{VO}_{2\text{max}}$), que coincidiren en els 4 últims dies del protocol, amb l'objectiu de valorar la manera que les vitamines antioxidants poden influir en les variables objecte d'estudi (lactat [La], pH, HCO_3^- , PCO_2 , RA, $\text{VO}_{2\text{max}}$ i P_{max}) entre l'inici i el final del protocol.

Recollida de paràmetres

Abans d'iniciar el protocol mesurarem els paràmetres relacionats amb el rendiment dels subjectes: $\text{VO}_{2\text{max}}$ i P_{max} a través d'una prova d'esforç en cicloergòmetre (Ergo-Line GmbH + CoKG, model Jaeger ER-900, Alemanya). Es determinarà el llindar anaeròbic a través de la metodologia de Wasserman, mitjançant el comportament dels equivalents tant de l'oxigen (EqVO_2) com del diòxid de carboni (EqVCO_2) en una prova incremental. El protocol utilitzat a la prova d'esforç consistí en un escalfament previ de 3 min a 50 wats (W). Havent acabat l'escalfament s'augmentà la intensitat en 30 W cada minut fins a l'esgotament. En acabar la prova es realitzà la recuperació a una intensitat de 25 W durant 3 min.

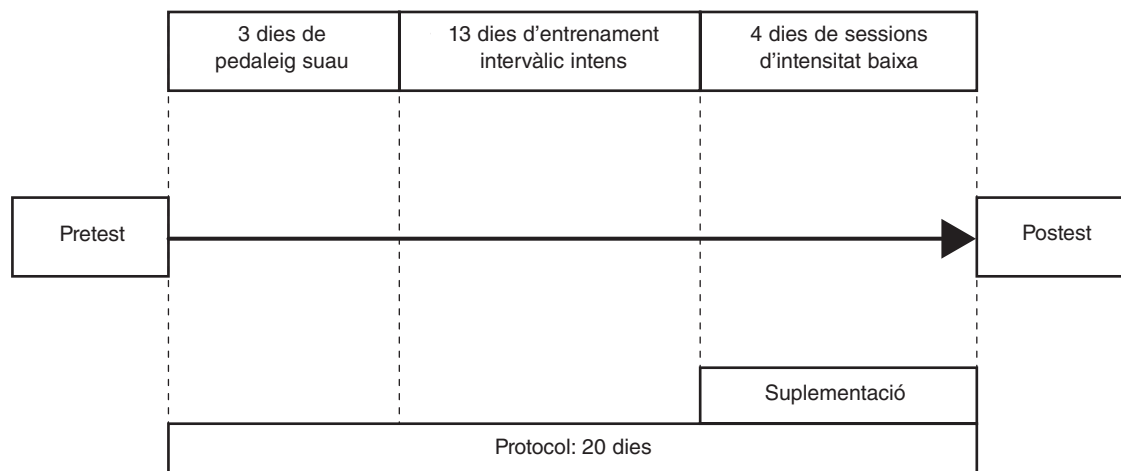
L'anàlisi de gasos espirats «respiració a respiració» es mantingué des de l'inici fins a la finalització de la prova. S'utilitzà un analitzador de gasos model CPX (Cardinal

Health, 234 GmbH, Leibnizstrasse 7, D-97204 Hoechberg, Alemanya). Per a l'anàlisi dels paràmetres sèrics bioquímics (pH, La, PCO_2 , HCO_3^-) s'utilitzà un analitzador clínic portàtil, amb una reproductibilitat prèviament contrastada¹²⁻¹⁵ (i-STAT® Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, EUA), que utilitzà un reduït volum de mostra (95 μl) del palpis dels dits, havent netejat prèviament la zona per evitar la contaminació de la mostra amb la suor, donat que el nivell de La a la suor és superior a la concentració del La a la sang^{16,17}. Les ingestes es realitzaren en repòs i en els minuts 1 i 3 de la recuperació.

Cal precisar que aquestes proves es realitzaren en 2 ocasions: 3 dies abans del protocol i 3 dies després d'haver-lo acabat.

Anàlisi de les dades

Es calculà la mitjana i la desviació típica de les variables antropomètriques. Per comparar els resultats entre l'inici i el final del protocol amb les diferents estratègies, es realitzà una anàlisi de la variància (ANOVA) d'un factor, i s'establí el nivell de significació en un valor de $p < 0,05$. Per conèixer entre quines variables hi havia diferències, es realitzà una anàlisi *post hoc* de Bonferroni, i s'ajustà el valor de significació estadística ($p < 0,05$). Totes les dades foren analitzades amb el paquet estadístic Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versió 15.0.

**Figura 1** Esquema del protocol d'activitat física i regeneratiu.

Taula 2 Comparació de mitjanes del comportament de les variables de rendiment abans i després d'aplicar el protocol d'intervenció mixt

Variables	Grups					
	RP (n = 5)		R (n = 6)		C (n = 4)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
$P_{\max}$ (W)	401,66	406,66	388,33	398,33	437,5	445
L_{ana} (% $VO_{2\max}$)	86	88,6	87,16	85,16	85,5	86,25
$VO_{2\max}$ (ml/min/kg)	56,71	56,46	57,36	57,72	58,15	56,71

$P_{\max}$: potència màxima aplicada en una prova d'esforç; L_{ana} : llindar anaeròbic; $VO_{2\max}$: consum màxim d'oxigen.

Resultats

A la taula 2 s'observa que la $P_{\max}$ tendeix a augmentar després d'aplicar el protocol al grup RP, en l'R i en el C, de 5, 10 i 8 W, respectivament. Per altra banda, la resistència aeròbica, valorada a través del percentatge del $VO_{2\max}$ que s'assoleix en el llindar anaeròbic, no presentà millores significatives, tot i que s'observà una millora de l'RP de 2,93% i del C de 0,88%, mentre que en el grup R disminuï en un 2,29%.

Tal com s'observa a la taula 3, els canvis de la $P_{\max}$ foren significatius ($p < 0,05$) en els grups RP, R i C.

A la taula 4 s'observa que en els subjectes del grup RP, tot i incrementar la $P_{\max}$, disminuï la concentració de La a la sang en finalitzar la prova d'esforç (després d'aplicar el protocol), mentre que el pH sanguini es mantingué constant, a diferència del grup R (en què tant la concentració de La com el pH es mantingueren constants) i en el grup C (la concentració de La augmentà en ~1 mmol/l i el pH disminuï).

Podem observar, a més, que la concentració d' HCO_3^- post-esforç augmentà en els grups RP i R en 1,033 i 1,06 mmol/l, respectivament, mentre que els resultats del grup C foren diferents, és a dir, finalitzaren la prova en un estat metabòlic lleugerament més àcid i la concentració d' HCO_3^- disminuï en 1,025 mmol/l. Tanmateix, les dades de PCO_2 sembla que milloraren en la mateixa proporció en els 3 grups.

Tot i que s'observen canvis (taula 4) en les diferents variables anteriorment comentades, a la taula 3 es pot veure que els resultats no foren significatius ($p > 0,05$).

S'observen diferències significatives entre el grup RP, R i C en la concentració de La i estat antioxidant total (*total antioxidant status* [TAS]) després d'aplicar el protocol (taula 5).

Discussió

Aquest estudi es realitzà amb el propòsit de conèixer si la metodologia desenvolupada, basada en l'entrenament per millorar la resistència combinada amb sessions de baixa intensitat, és l'estratègia més adequada per aconseguir una adaptació millor a l'esforç realitzat.

Estudis previs han desenvolupat treballs amb ciclistes professionals, però són pocs els que han estudiat subjectes amb un perfil similar als que han participat en el nostre estudi, és a dir, ciclistes de nivell amateur. A més, aquest estudi presenta diferències quant al nombre total de subjectes participants i també en el nombre de subjectes per grup, així com en la durada del protocol d'activitat física.

Els nostres resultats suggereixen que sessions d'EI augmenten la $P_{\max}$ i mantenen constant tant la resistència aeròbica com el $VO_{2\max}^{18}$, a més del pH sanguini en un període d'entrenament de 20 dies. Tanmateix, s'observa un augment de la concentració d' HCO_3^- de reserva i una reducció de la concentració màxima de La (no significativa), cosa que fa pensar que hi hagué un ús menor de les vies energètiques glucolítiques a igual intensitat de treball, després

Taula 3 Valor de p de les variables sèriques i de rendiment

Variables	Grups		
	RP (n = 5)	R (n = 6)	C (n = 4)
La (mmol/l)	0,855	0,948	0,147
HCO_3^- (mmol/l)	0,547	0,230	0,287
pH	0,451	0,493	0,105
$P_{\max}$ (W)	0,004	0,004	0,002
L_{ana} (% $VO_{2\max}$)	0,226	0,675	0,432
$VO_{2\max}$ (ml/min/kg)	0,319	0,948	0,147

HCO_3^- : bicarbonat; L_{ana} : llindar anaeròbic; La: lactat; $P_{\max}$: potència màxima aplicada en una prova d'esforç; $VO_{2\max}$: consum màxim d'oxigen.

Taula 4 Comparació de valors mitjans, post prova d'esforç, del comportament de les variables bioquímiques pre i postprotocol

Variables	Grups					
	RP (n = 5)		R (n = 6)		C (n = 4)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
La	9,633	9,400	12,300	12,320	13,875	14,500
HCO ₃ (reserva)	14,667	15,700	13,060	14,120	11,875	10,850
pH	7,257	7,225	7,156	7,170	7,192	7,115
PCO ₂	34,233	37,200	36,780	38,480	30,850	33,475

HCO₃: bicarbonat; La: lactat; PCO₂: pressió arterial del diòxid de carboni.

de l'aplicació del protocol. Donat que les proves d'esforç realitzades després de finalitzar el protocol (3 dies després) foren màximes, podríem descartar que la menor concentració de La sigui deguda a una depleció dels magatzems del glucogen.

D'altra banda, s'observà una disminució menor de la PCO₂ en tots els grups¹⁹ després d'aplicar el protocol, fet que suggereix que la capacitat de compensació respiratòria de l'acidosi postexercici millorà, malgrat que no ho féu significativament. Aquestes dades fan pensar que en aquest cas la suplementació amb vitamines C i E no tingué cap efecte sobre les variables objecte d'estudi²⁰ i que les adaptacions observades només foren resultat de l'entrenament.

S'observà que un període de 17 dies d'entrenament combinat amb sessions de baixa intensitat podria ser el mètode més adequat per millorar la P_{max}^{21,22}, sense que s'observin canvis en el VO_{2max}²³, cosa que contradiu els resultats obtinguts per Norris i Petersen²¹.

D'altra banda, l'RA dels subjectes romangué invariable, és a dir, el protocol d'entrenament no incrementà la resistència, com afirmen Weber i Schneider²³, fet que suggereix que tal vegada la durada del protocol d'entrenament no fou l'adequada, ja que només un 5% de la càrrega s'invertí en entrenaments a una intensitat del 90% VO_{2max}, o que el rendiment dels ciclistes tenia poc marge de millora.

Després del protocol, no s'observà cap augment significatiu del VO_{2max}, mentre que, per altra banda, en el grup C disminuï en un 4,5%. El fet que no existissin millores del VO_{2max} podria explicar-se, primer, per la durada del protocol

(no hi ha millora després de períodes d'entrenament inter-vàlic intensiu d'una durada menor de 3 setmanes)²⁵, i segon, com en el cas de la resistència aeròbica, pel curt període de temps que s'entrenà a intensitats molt properes al 100% VO_{2max}.

Toi i que molts estudis han afirmat que hi ha increment del VO_{2max} després de 14 fins a 24 sessions d'EII desenvolupades entre 2 i 8 setmanes^{26,27}, la intensitat més adequada per provocar canvis del VO_{2max} és la revelada per Wisloff et al.²⁶, que afirmen que l'entrenament per intervals a alta intensitat (85-95% VO_{2max}) induïx efectes més beneficiosos pel cor, si es compara amb un entrenament d'intensitat moderada o baixa.

D'altra banda, en observar la resposta fisiològica amb l'augment de la intensitat, científics especialistes en aquest camp indiquen que la intensitat òptima per millorar el VO_{2max} és entrenar al 100% VO_{2max} o al voltant d'aquest límit²⁹. En conclusió, podem dir que les millores del VO_{2max} depenen de la intensitat²⁸ i de la durada del protocol, la qual cosa pot explicar l'absència de millora del VO_{2max} aplicant el nostre protocol (només el 5% de l'entrenament es realitzà a una intensitat superior al 90% VO_{2max}).

Podem pensar que l'augment de la P_{max} en aquest estudi podria ser degut a què amb l'entrenament disminueix l'aportació energètica a partir del metabolisme anaeròbic i que podria tenir més protagonisme el metabolisme aeròbic, i existiria una menor dependència de la glucòlisi anaeròbica i, per tant, una menor producció d'àcid làctic i concentració de ions d'hidrogen (H⁺)³⁰.

Taula 5 Anàlisi post hoc de Bonferroni després d'aplicar el protocol

Variable	(I)GR	(J)GR	Mitjana	Error típic de la mitjana	95% interval de confiança per a la diferència		Significació (bilateral)
					Inferior	Superior	
[La] postprotocol (mmol/l)	RP	C	-5,100	1,4945	-9,254	-0,946	0,015
		R	-2,920	1,402	-6,817	0,977	0,178
TAS postprotocol	RP	C	0,9733	0,0375	0,873	1,073	0,000
		R	0,596	0,0352	0,502	0,690	0,000

[La]: concentració de lactat; TAS: estat antioxidant total.

La capacitat d'eliminar el La muscular i la capacitat de la musculatura de mantenir certa concentració de La desenvolupa un paper clau de la potència del ciclista³¹. L'EII, caracteritzat per sèries curtes d'alta intensitat i recuperacions llargues, pot millorar el rendiment en reduir la concentració d'H⁺ i millorar l'eliminació de La^{4,32}.

Després d'aplicar el nostre protocol s'observà en el grup RP una disminució (no significativa) de la concentració de La en sang de ~1 mmol/l²⁸. Tot i que pot variar per la durada de l'exercici, per la intensitat, pels canvis de ritme, per la tècnica, per la dieta i pel contingut de glucogen muscular³³, i malgrat la constroèrsia de la literatura, és acceptat àmpliament que, directament o indirecta, una reducció més ràpida de la concentració de La accelera la recuperació i millora el rendiment d'un esforç posterior³⁴.

Els resultats d'aquest estudi suggereixen que la menor concentració de La després d'aplicar el protocol d'EII és deguda a una utilització més gran de les vies aeròbiques i no a la insuficiència de temps de recuperació, que provocaria que els dipòsits de glucogen estiguessin buits, ja que en les proves d'esforç tots els subjectes assoliren la freqüència cardíaca màxima i fins i tot augmentaren la P_{max}.

Una concentració més baixa de La a la sang, a una intensitat de treball similar, després d'un protocol d'entrenament de resistència —tot i que no es mesurà en aquest estudi— suggereix que podria ser deguda a una capacitat major per part de les mitocondries per oxidar els greixos.

S'ha demostrat que el contingut mitocondrial i l'activitat enzimàtica del múscul s'incrementen després de l'entrenament, i aquest fet pot ser en part el responsable de la reducció de la taxa d'utilització de glucogen i de glucosa durant l'exercici³⁵.

Per altra banda, la suplementació d'antioxidants als esportistes està ben documentada. Sovint els resultats dels diferents estudis són contradictoris degut a les vitamines i les dosis utilitzades, tot i que mostren que l'ús combinat de vitamines té efectes millors que la suplementació amb una única vitamina³⁶⁻³⁸. A més, és especialment important suplementar durant períodes d'entrenament intensos i/o de competició que poden requerir més necessitats d'antioxidants^{36,39}. Hi ha estudis que mostren un increment de l'estrès oxidatiu, després d'un esforç supramàxim, com ara: exercicis intervals, esprints, salts o sèries de salts⁴⁰⁻⁴⁷.

Per això, en aquest estudi s'utilitzà una suplementació combinada d'antioxidants (vitamines C i E) que no millorà el rendiment del grup RP^{36,38,48-51} si es valora sobre canvis del VO_{2max}. Tot i que la suplementació amb antioxidants no millorà el rendiment, tampoc no l'empitjorà. Molts estudis han utilitzat la suplementació de vitamines antioxidants i no han observat cap millora en el rendiment dels esportistes sense deficiències⁴⁸⁻⁵¹. A partir de les nostres dades podríem pensar que els subjectes participants a l'estudi no tenien un estat deficitari de les vitamines subministrades.

Generalment es creu que si perdura un desequilibri entre entrenament i recuperació, pot ocasionar una acumulació d'estrès per entrenament, i pot provocar un empitjorament del rendiment⁵². Així, a partir de les dades, sembla que tota estratègia utilitzada pot ser correcta per evitar un possible empitjorament significatiu ($p < 0,05$) del rendiment.

Hi ha estudis que evidencien que hi ha una relació positiva entre la disminució de l'àcid làctic i el descens de

marcadors d'estrès oxidatiu^{45,53}. En el nostre estudi s'observà una diferència significativa (taula 5) entre el grup RP i el grup C referent a la concentració de La i l'estat antioxidant total (TAS) ($p = 0,015$ i $p = 0,000$, respectivament), i comparat amb el grup R només s'observà una diferència significativa en la variable TAS ($p = 0,000$), i així es confirmaren els resultats d'estudis previs^{45,53}.

La reducció de la capacitat del nostre sistema antioxidant induïda per l'exercici ha estat observada en altres estudis³⁷ que suggereixen que una acumulació d'exercici intens pot provocar un augment de l'estrès oxidatiu, i que això pot ser l'origen d'un estat de fatiga i de possibles lesions⁵³. En aquest estudi no es registrà cap abandonament per lesió, ni s'observà l'estat de fatiga en el grup RP a través de les variables de rendiment, ja que el VO_{2max} es mantingué estable i la P_{max} millorà significativament ($p < 0,05$). Si la capacitat de recuperació individual es veu reduïda per un estrès continuat per l'entrenament, podria contribuir a una mala adaptació fisiològica, biomecànica i psicològica; en definitiva, a l'aparició del sobreentrenament^{54,55}.

Per tant, i a tall de cloenda, entenem que el nostre protocol d'entrenament d'alta intensitat, combinat amb diferents estratègies de recuperació, ha produït el mateix efecte sobre el rendiment, independentment de la metodologia de treball emprada durant el dies de recuperació. Tanmateix, d'acord amb els resultats, suggerim que, per millorar el TAS, després d'un protocol d'entrenament d'alta intensitat, podria ser una estratègia adequada la suplementació amb vitamina C i E durant les sessions de recuperació.

Suggerim que cal seguir en aquesta mateixa línia d'investigació, augmentant la mostra i/o el protocol d'activitat física, separant el període d'entrenament del de recuperació, de manera que es pugui avaluar amb més precisió si la metodologia emprada afavoreix l'adaptació a l'esforç.

Conflicte d'interessos

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

Bibliografia

1. Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, Busschaert B, Gleeson M, Jones DA, et al. Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol*. 2002;93:947-56.
2. Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effects of recovery modality on 4-hour repeated treadmill performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport*. 2004;7:1-10.
3. Dupont G, Berthoin S. Time spent at a high percentage of VO_{2max} for short intermittent runs: Active versus passive recovery. *Can J Appl Physiol*. 2004;29:3-16.
4. Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD. Effects of active versus passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int J Sports Med*. 2004;25:109-14.

5. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active vs. passive recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1492-9.
6. Noakes T. *Lore of Running*. 4a ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003.
7. Bosak A, Bishop P, Green M, Losia M. Active versus passive recovery in the 72 hours after a 5 km race. *Sport J.* 2008;11. ISSN: 1543-9518.
8. Meyer T, Faude O, Urhausen A, Kindermann W. Recovery training in cyclists: Ergometric, hormonal and psychometric findings. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;19:411-33.
9. Cucullo JM, Terreros JL, Layus F, Quílez J. Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo del VO_{2max} en ciclistas. *Apunts Med Esport.* 1987;93:157-62.
10. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:70-84.
11. Packer L, Reznick A, Simon-Schnass I. Significance of vitamin E for the athlete. En: Fuchs J, Packer L, editors. *Vitamin E in health and disease*. Nova York, NY: Marcel Dekker; 1992. p. 465-71.
12. Gault MH, Harding CE. Evaluation of i-STAT portable clinical analyzer in a hemodialysis unit. *Clin Biochem.* 1996;29:117-24.
13. Murthy JN, Hicks JM, Soldin SJ. Evaluation of i-STAT portable clinical analyzer in a neonatal and pediatric intensive care unit. *Clin Biochem.* 1997;30:385-9.
14. Bingham D, Kendall J, Clancy M. The portable laboratory: and evaluation of the accuracy and reproducibility of i-STAT. *Ann Clin Biochem.* 1999;36:66-71.
15. Papadea C, Foster J, Grant S, Ballard SA, Cate JC, Southgate WM, et al. Evaluation of the i-STAT portable clinical analyzer for point of care blood testing in the intensive care units of a university children's hospital. *Ann Clin Lab Sci.* 2002;32:231-243.
16. Viru A, Viru M. *Análisis y control del rendimiento deportivo*. 1a ed. Barcelona: Paidotribo; 2003.
17. Meyer T, Faude O, Urhausen A, Scharhag J, Kindermann W. Different effects of two regeneration regimens on immunological parameters in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1743-9.
18. Aguiló A, Tauler P, Guix MP, Villa G, Cordova A, Tur JA. Effect of exercise intensity and training on antioxidants and cholesterol profile in cyclists. *J Nutr Biochem.* 2003;14:319-25.
19. Zoppi CC, Hohl R, Silva FC. Vitamin C and E supplementation effects in professional soccer players under regular training. *J Int Sports Nutr.* 2006;3:37-44.
20. Gaiga MC, Docherty D. The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 1995;20:452-64.
21. Norris SR, Petersen SR. Effect of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci.* 1998;16:733-8.
22. Wilmore JH, Costill DL. *Adaptaciones metabólicas al entrenamiento. Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo; 2007, p.198-220.
23. Weber CL, Schneider DA. Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol.* 2002;92:1795-801.
24. Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol.* 2002;78:163-9.
25. McDougall 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.
26. Wisloff U, Ellingsen O, Kemi OJ. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exerc Sports Sci Rev.* 2009;37:139-46.
27. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? *Sports Med.* 2006;36:117-32.
28. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO_{2max} more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:665-71.
29. McRae HHS, Noakes TD, Dennis SC. Effects of endurance training on lactate removal by oxidation and gluconeogenesis during exercise. *Pflug Arch Eur J Physiol.* 1995;430:964-70.
30. Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JAL. Effects of recovery mode on performance, O_2 uptake, and O_2 deficit during high intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol.* 2004;29:227-44.
31. Jeukendrup AE, Martin J. Improving cycling performance: How should we spend our time and money. *Sports Med.* 2001;31:559-69.
32. Borresen J, Lambert MI. The quantification of training load: The training response and the effect on performance. *Sports Med.* 2009;39:779-95.
33. Falk B, Dotan R. Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2006;34:107-12.
34. Kubukeli ZN, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sport Med.* 2002;32:489-509.
35. Chicharro JL. *Transición aeróbica-anaeróbica: concepto, metodología de determinación y aplicaciones*. Madrid: Máster Line & Prodigio S.L.; 2004.
36. Margaritis I, Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ, Favier A. Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr.* 2003;22:147-56.
37. Palazzetti S, Richard MJ, Favier A. Overload training increases exercise-induced oxidative stress and damage. *Can J Appl Physiol.* 2003;28:588-604.
38. Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ. Antioxidant supplementation preserves antioxidant response in physical training and low antioxidant intake. *Br J Nutr.* 2004;91:91-100.
39. Finaud J, Scislawski V, Lac G. Antioxidant status and oxidative stress in professional rugby players: Evolution throughout a season. *Int J Sports Med.* 2006;27:87-93.
40. McBride JM, Kraemer WJ, Triplett-McBride T. Effect of resistance exercise on free radical production. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:67-72.
41. Groussard C, Rannou-Bekono F, Machefer G, Chevanne M, Vincent S, Sergeant O, et al. Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:14-20.
42. Frank J, Pompella A, Biesalski HK. Histochemical visualization of oxidant stress. *Free Radic Biol Med.* 2000;29:1096-105.
43. Chen SS, Chang LS, Wei YH. Oxidative damage to proteins and decrease of antioxidant capacity in patients with varicocele. *Free Radic Biol Med.* 2001;30:1328-34.
44. Radak Z, Nakamura A, Nakamoto H. A period of anaerobic exercise increases the accumulation of reactive carbonyl derivatives in the lungs of rats. *Plügers Arch.* 1998;435:439-41.
45. Kayatekin BM, Gonenc S, Acikgoz O, Uysal N, Dayi A. Effects of sprint exercise on oxidative stress in skeletal muscle and liver. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:141-4.
46. Goldfarb AH, Bloomer RJ, McKenzie MJ. Combined antioxidant treatment effects on blood oxidative stress after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:234-9.
47. Ramel A, Wagner KH, Elmadfa I. Plasma antioxidants and lipid oxidation after submaximal resistance exercise in men. *Eur J Nutr.* 2004;43:2-6.
48. Laursen PB. Free radicals and antioxidant vitamins: Optimizing the health of the athlete. *Strength Cond J.* 2001;23:17-25.
49. Clarkson PM, Thompson HS. Antioxidants: What role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr.* 2000;72:637-46.

50. Evans WJ. Vitamin E, vitamin C, and exercise. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:647-52.
51. Singh A, Moses FM, Deuster PA. Chronic multivitamin-mineral supplementation does not enhance physical performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;24:726-32.
52. Kreider R, Fry AC, O'Toole M. Overtraining in sport: Terms, definitions, and prevalence. En: Kreider R, Fry AC, O'Toole M, editors. *Overtraining in Sport.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1998. p. 7-9.
53. Clarkson PM. Antioxidants and physical performance. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1995;35:131-41.
54. Tiidus PM. Radical species in inflammation and overtraining. *Can J Physiol Pharmacol.* 1998;76:533-8.
55. Fry RW, Morton AR, Keast D. Periodisation and the prevention of overtraining. *Can J Sport Sci.* 1992;17:241-8.