

Un programa d'entrenament intens per a una ràpida millora tant del metabolisme aeròbic com de l'anaeròbic

GIL RODAS*, JOSEP L. VENTURA,
JOAN A. CADEFAU, ROSER CUSSÓ
& JOAN PARRA

Departament de Ciències
Fisiològiques I. Facultat de Medicina,
Universitat de Barcelona.
*Centre d'Estudis d'Alt Rendiment
Esportiu (CEARE), Esplugues de
Llobregat, Barcelona.

CORRESPONDÈNCIA:
Dr. Gil Rodas Font
Gran Via de les Corts Catalanes 774, 2º
08013 Barcelona
e-mail: grodas@excelent.es

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2002; 140: 5-12

RESUM: L'objectiu d'aquest estudi va ser valorar els canvis en el metabolisme aeròbic i anaeròbic produïts per un nou programa d'entrenament de curta durada. Cinc voluntaris (homes) van entrenar diàriament durant 2 setmanes en un cicloergòmetre. Les sessions consistien en sèries de 15 seg d'esforç màxim en cicloergòmetre amb 45 seg de descans, seguides de sèries de 30 seg d'esforç màxim amb 12 minuts de descans. El nombre de sèries va augmentar gradualment fins el màxim de set. Es van realitzar biòpsies musculars en el *vastus lateralis* abans i després de l'entrenament. Les variacions de rendiment es van avaluar mitjançant dos test, un d'esforç màxim de 30 seg i un test d'esforç màxim progressiu. Com resposta a l'entrenament, es van detectar increments significatius en la concentració de fosfocreatina (31%) i glucogen (32%). A més a més, es va observar un augment significatiu de l'activitat muscular dels enzims: creatin-quinasa (44%), fosfofructo-quinasa (106%), lactat deshidrogenasa (45%), 3-hidroxi-àcil-CoA deshidrogenasa (60%) i citrat sintetasa (38%). Després de l'entrenament, el rendiment en el test d'esforç màxim de 30 seg no va mostrar cap millora significativa, mentre que en el test d'esforç progressiu, el consum màxim d'oxigen va augmentar de 57,3 (\pm 2,6) ml·min⁻¹·kg⁻¹ a 68,3 (\pm 3,9) ml·min⁻¹·kg⁻¹, i la càrrega muscular màxima va passar de 300 (\pm 11) W a 330 (\pm 21) W, essent totes les variacions significatives. Concloent, aquest nou protocol en el qual s'utilitzen períodes d'entrenament de curta durada, altes càrregues i llargs períodes de recuperació, sembla un programa efectiu per a la millora del rendiment i de les vies energètiques en un curt període de temps.

PARAULES CLAU: múscul esquelètic humà, enzims oxidatius, consum d'oxigen, rendiment anaeròbic, lactat.

SUMMARY. The target of this study is to assess the changes, in both the aerobic and anaerobic metabolisms, provoked by a short length program training. Five (male) volunteers worked out daily during two weeks in a cycloergometer. These sessions consisted of 15-second series of maximum effort with a 12-minute rest. The number of series increased gradually up to seven. Muscular biopsies in the *vastus lateralis* were done before and after the training. Performance variations were valued using two tests: a 30-second maximum effort test, and a progressive maximum effort test. Important increases in the phosphocreatin concentration (31%) and glucogen (32%) were found. An important increase in the muscular activity of the enzymes was also found: creatin kinase (44%), phosphofructokinase (106%), lactate deshydrogenase (45%), 3-hydroxi-aci-CoA deshydrogenase (60%) and citrate-synthetase (38%). After training, the performance in the 30-second maximum effort test did not show any significant improvement. However, in the progressive maximum effort test, the oxygen maximum consumption increased from 57,3 (\pm 2,6) ml·min⁻¹·kg⁻¹ to 68,3 (\pm 3,9) ml·min⁻¹·kg⁻¹, and the maximum muscular load went from 300 (\pm 11) W to 330 (\pm 21) W, being all the variations significant.

As a conclusion, this new protocol, which uses short length training periods, important loads and long recovery periods, is an effective program to improve the performance and the energy in a short period of time.

KEY WORDS: human skeletal muscle, oxidative enzymes, oxygen consumption, anaerobic performance, lactate.

INTRODUCCIO

La bibliografia internacional accepta que les variacions induïdes per l'exercici poden modular-se segons els programes d'entrenament (Abernethy i col., 1990). D'aquesta manera tenim que un protocol amb exercicis de resistència produeix una major adaptació del metabolisme aeròbic (enzims de la via oxidativa), millora la captació d'oxigen (VO_2) i el rendiment en test de resistència (Henriksson, 1996), mentre que entrenaments ràpids i curts incrementen la concentració de substrats i l'activitat d'enzims relacionats amb el metabolisme anaeròbic (Thorstensson i col., 1975; Robert i col., 1982; Cadefau i col., 1990). Com a contrapartida a aquests extrems, en la majoria dels casos, l'objectiu de la preparació d'un esportista és millorar tant les seves característiques aeròbiques com les anaeròbiques. Generalment, per obtenir aquest resultat, es dissenya una fase inicial de resistència, seguida per exercicis d'alta intensitat o ràpids i curts.

A la literatura trobem que els programes d'entrenament capaços de millorar el metabolisme aeròbic i anaeròbic (amb exercicis continus o amb intervals) es basen, principalment, en períodes d'almenys 6 setmanes (Costill i col., 1979; Jacobs i col., 1987). Els pocs programes de durada més breu es basen, generalment, en entrenament continu de resistència en el qual s'indueixen canvis hemodinàmics i metabòlics, però no milloren ni el rendiment, ni el consum màxim d'oxigen (VO_2), ni produeixen grans canvis enzimàtics (Green i col., 1992; Cadefau i col., 1994; Phillips i col., 1996; Shoemaker i col., 1996).

Tot sovint, els atletes necessiten un programa d'entrenament especial que els permeti obtenir una bona forma física en el període de temps més breu possible, sobretot després de períodes d'inactivitat deguts a lesions, malalties o problemes personals. En aquests casos, el cicloergòmetre presenta avantatges en front altres tipus d'entrenament: baix cost i mida de l'equipament necessari, gran nombre de músculs involucrats, fàcil manipulació de les càrregues, pràctica "indoor" i compatibilitat amb algunes lesions en els membres superiors.

En els nostres voluntaris es va aplicar un programa d'entrenament que es caracteritzava per altes càrregues musculars i entrenament diari durant 14 dies amb l'objectiu de produir les majors respostes en un curt interval de temps.

L'objectiu d'aquest estudi va ser descobrir els canvis bioquímics i fisiològics produïts en el metabolisme aeròbic i anaeròbic mitjançant un programa d'entrenament amb altes càrregues musculars, repetides diàriament durant 14 dies.

METODE

Voluntaris

Cinc voluntaris sans (homes) van acceptat formar part d'aquest estudi. La seva edat mitja (SD), pes i massa corporal eren: 20,8 (2,9) anys, 171 (5) cm i 68,1 (4,2) kg, respectivament. Tots eren actius, però cap participava a altres programes d'entrenament. Durant el període d'estudi, tots els voluntaris van parar les seves activitats físiques normals (recreacionals) i només van exercitar-se durant les sessions d'entrenament com a part de l'experiment. Abans de l'experiment, els voluntaris es van sotmetre a una revisió per tal d'assegurar el seu bon estat físic.

L'experiment es va realitzar segons el codi d'ètica de la World Medical Association (Declaration of Helsinki), i es va obtenir l'aprovació del Comitè Ètic de l'Hospital Clínic i Provincial de Barcelona. Abans de començar, tots els voluntaris van ser informats de l'estudi i possibles riscos del protocol d'experimentació, donant el seu consentiment per escrit.

Protocol d'entrenament

Abans d'iniciar l'estudi es va realitzar un procés de familiarització amb l'equip i els procediments. El programa estava format per 14 sessions consecutives d'entrenament, fet pel qual els voluntaris van entrenar cada dia durant 2 setmanes (fig. 1). Les sessions sense escalfament previ van consistir en sèries de 15 seg en cicloergòmetre amb 45 seg de descans, i sèries d'esforç màxim de 30 seg en cicloergòmetre amb 12 minuts de descans. El nombre de repeticions es va incrementar durant les sessions. Les primeres tres sessions estaven formades per dues sèries de 15 seg i dues sèries de 30 seg. En les següents sessions, les sèries de 15 i 30 seg van augmentar en un cada dues sessions d'entrenament. Les últimes tres sessions van consistir en set sèries de 15 seg i set sèries de 30 seg.

La tensió del cicloergòmetre era de 0,075 kg per kg de massa corporal i es va mantenir constant durant tot l'estudi. S'enregistrà tant la freqüència màxima de pedalada com la mínima en acabar la sèrie.

Els voluntaris van ser motivats i animats verbalment durant l'entrenament i es va insistir en que havien de pedalar amb el màxim esforç en cada sessió.

Test de rendiment

Els voluntaris van realitzar un test de valoració del rendiment abans i després de l'entrenament: d'esforç màxim de

Biòpsies musculars

Per a l'extracció de biòpsies musculars, els voluntaris es van situar en una llitera d'exploració mentre se'ls hi practicaven petites incisions en ambdues cames a través de la pell i la fàscia. Es va utilitzar la tècnica de biòpsia d'agulla en la qual les mostres (30-50 mg) s'extreuen amb anestèsia local (mepivacaïna 2%) en la regió mitja del *quadriceps femoralis (vastus lateralis)*, 15 cm per sobre de la part superior de la ròtula en un primer moment (abans de l'entrenament) i 5 cm més amunt en la segona vegada (després de l'entrenament).

La primera mostra muscular s'extreia de la cama esquerra (en repòs). Aleshores, els voluntaris realitzaven el test de 30 seg; la segona biòpsia (de la cama dreta) s'extreia immediatament (menys de 2 seg), mentre restaven asseguts al cicloergòmetre. El mateix protocol es va aplicar abans (pre-) i després (post-) de l'entrenament. Les mostres es van congelar immediatament en nitrogen líquid i emmagatzemar a una temperatura de -80°C fins que eren liofilitzades i analitzades.

Anàlisi bioquímics

A les mostres liofilitzades se'ls va extreure el teixit connectiu i la sang lliure que podia haver quedat en el procés i posteriorment van ser pulveritzades. Una part de cada mostra (4-6 mg) va ser tractada amb 0,5 M HClO_4 , centrifugada a 15.000 g a 4°C durant 15 minuts, i el sobrenadant va ser neutralitzat amb 2,1 M KHCO_3 . El neutralitzat es va utilitzar per a la determinació de la fosfocreatina (PCr), piruvat i lactat. Tots els metabolits van ser analitzats enzimàticament i per tècnica fluorimètrica (Lowry i Passonneau, 1972). La concentració de glucogen va ser valorada en el neutralitzat i en el precipitat després de la hidròlisi àcida pel mètode descrit per Lowry i Passonneau (1972).

Per a les activitats enzimàtiques, una part de les mostres de múscul (4-6 mg) va ser homogeneïtzada en 30 volums de 50mM HCl-Tris (pH 7), 4 mM EDTA, 50 mM KF i 30 mM mercaptoethanol a 4°C , utilitzant-se un potter especial (Teflon pellet pestle, Kontes). La preparació va ser centrifugada a 15.000 g i 4°C durant 15 minuts. Les activitats enzimàtiques van ser immediatament valorades espectrofoto-mètricament en el sobrenadant: creatina quinasa (CK), fosfofructoquinasa (PFK) i lactat desidrogenasa (LHD) utilitzant-se els mètodes descrits a Cadefau i col. (1990); citrat sintasa (CS) i 3-hidroxyacyl-CoA deshidrogenasa (HADH) ho van ser pels mètodes descrits per Essen-Gustavsson i Henriksson (1984).

Els valors de pH van calcular-se amb les concentracions de lactat i piruvat utilitzant-se l'equació de Sahlin (Sahlin, 1978) per a teixits secs, quan la concentració s'expressa en $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$:

$$\text{pH} = 7,06 - 0,00413 \times ([\text{lactat}] + [\text{piruvat}])$$

on [lactat] i [piruvat] són les concentracions de lactat i piruvat respectivament.

Estadística

Les dades són expressades com a valor mig (SD). El significat estadístic de la diferència entre dos valors mitjos va ser valorada pel test no paramètric de Wilcoxon per a valors aparellats. El nivell de significat estadístic va ser acceptat com $P < 0,05$.

RESULTATS

Canvis en els metabolits musculars provocats per un test de 30 seg

A partir de les biòpsies que es van realitzar abans d'iniciar-se l'entrenament, es van poder valorar els canvis en el metabolisme muscular induïts per un test d'esforç màxim de 30 seg (Test de Wingate).

Les concentracions de fosfocreatina i glucogen van disminuir significativament. L'augment en la concentració de lactat va ser 10 vegades més alt que el valor basal i l'augment en la concentració de piruvat va assolir un nivell 5 vegades el basal. Després del test, donat que el piruvat i el lactat van augmentar les seves concentracions, el pH del múscul va devallar sensiblement (Taula 1).

Efecte de l'entrenament sobre els canvis en el metabolisme muscular provocats per un test de 30 seg

El programa d'entrenament va provocar un increment significatiu en les concentracions basals de fosfocreatina (31%, $P < 0,05$) i glucogen (32%, $P < 0,05$). Després del test, les concentracions de fosfocreatina i glucogen van caure tal com ho van fer en el test d'abans de l'entrenament. Per altra banda, tot i que l'increment en la concentració de lactat després dels test va ser molt significatiu ($p < 0,01$), aquest va ser significativament menor que l'acumulació de lactat en el test realitzat abans de l'entrenament.

Tanmateix, el lactat sanguini generat després del test d'esforç màxim post-entrenament va ser major en un 25% que el lactat sanguini produït després del test d'esforç màxim pre-entrenament. Les concentracions de les mostres prè-

Taula I Concentracions dels metabolits musculars en les biòpsies abans i després del test de 30 seg abans (Pre-) i després (Post-) de l'entrenament

	Pre-entrenament		Post-entrenament	
	0 s	30 s	0 s	30 s
Fosfocreatina	53,2 ± 6,3	20,0 ± 8,5**	69,8 ± 2,0 [†]	29,6 ± 8,8**
Glucogen	251 ± 19	178 ± 26**	332 ± 22 [†]	281 ± 25**
Piruvat	0,30 ± 0,03	1,49 ± 0,70**	0,58 ± 0,16	1,29 ± 0,33**
Lactat	8,7 ± 0,8	103,5 ± 15,2**	9,4 ± 2,2	87,0 ± 17,3**
pH	7,02 ± 0,02	6,63 ± 0,04*	7,02 ± 0,03	6,70 ± 0,04*

Els valors s'expressen com a promig (D.S., en mmol·(kg teixit sec)⁻¹. (***) indica diferències significatives (P<0,05, P<0,01) entre els valors a 0 seg i a 30 seg en el mateix període d'entrenament. (†) indica diferències significatives (P<0,05) entre valors corresponents a períodes d'entrenament diferents.

vies a la realització dels tests van ser de 1,38 (0,26) mM en el pre-entrenament i 1,64 (0,22) mM en el post-entrenament. Als 3, 5, 7 i 10 minuts de recuperació, els valors van ser de 10,3 (1,6), 11,8 (1,4), 13,2 (1,2), 11,9 (0,8) mM en el pre-entrenament i 14,6 (1,2), 16,2 (1,1), 15,3 (1,2) mM en el post-entrenament (P<0,05 en tots els casos de recuperació), respectivament.

Adaptacions enzimàtiques a l'entrenament

Com a resposta a l'entrenament, diverses activitats enzimàtiques es van veure alterades (Taula 2). L'activitat de la CK va mostrar un augment significatiu del 44%. La LDH va augmentar un 45% i la PFK un 100%. Les activitats enzimàtiques relacionades amb el metabolisme oxidatiu també es van incrementar significativament després de l'entrenament: CS un 38% i HADH un 60%.

Evolució del rendiment

L'augment de la força (força màxima i força mitja) en el test de 30 seg va ser mínim i no significatiu (3% i 3%, respectivament). Tanmateix, es va observar un augment significatiu en l'índex de pedalada durant l'entrenament (fig. 2) que va desaparèixer quan als voluntaris se'ls hi va demanar que augmentessin el nombre de repeticions d'exercicis fins a set (últimes tres sessions). L'última sessió d'entrenament va mostrar una evident davallada en el rendiment. En contrast, el rendiment en els tests d'esforç progressiu va augmentar després de l'entrenament i els voluntaris van ser capaços d'augmentar el nivell de força en un 10% i el VO₂ en un

Taula II Activitats enzimàtiques en les biòpsies musculars abans (Pre-) i després (Post-) de l'entrenament

	Pre-entrenament	Post-entrenament
CK	10847 ± 1686	15608 ± 1873*
PFK	75,3 ± 6,6	155,5 ± 12,4**
LDH	886 ± 89	1283 ± 124*
HADH	19,3 ± 2,7	30,9 ± 3,1*
CS	28,1 ± 2,4	38,8 ± 1,6*

Els valors s'expressen com a promig ± D.S., en U·(g teixit sec)⁻¹. (***) indica diferències significatives (P<0,05, P<0,01) entre valors corresponents a períodes d'entrenament diferents (U = μmol·min⁻¹).

Taula III Paràmetres funcionals en la prova de màxim esforç progressiu i el de 30 seg, abans (Pre-) i després (Post-) de l'entrenament

	Pre-entrenament	Post-entrenament
Test Progressiu		
VO ₂ màx. (ml·(min·kg) ⁻¹)	57,3 ± 2,6	63,8 ± 3,0*
FC (puls·min ⁻¹)	189 ± 5	195 ± 4
Potència (W)	300 ± 11	330 ± 21*
U.A. (ml·(min·kg) ⁻¹)	32,7 ± 1,8	33,2 ± 1,7
Test de 30 seg		
VO ₂ màx. (ml·(min·kg) ⁻¹)	28,3 ± 4,3	36,2 ± 2,1*
FC (puls·min ⁻¹)	150 ± 4	153 ± 7
Potència màx (W)	723 ± 33	744 ± 29
Potència mitja (W)	578 ± 30	595 ± 24

Els valors s'expressen com a promig ± D.S.

U.A. = Llardar Anaeròbic

(*) indica diferències significatives (P<0,05) entre valors del mateix paràmetre corresponents a períodes d'entrenament diferents.

11%, essent ambdós increments significatius (Taula 3). S'ha de recordar que el test d'esforç progressiu post-entrenament es va realitzar 5 dies després del test de 30 segons.

DISCUSSIO

Cada programa d'entrenament afecta al múscul de forma diferent segons el volum de les càrregues, dels períodes de recuperació i de la intensitat dels exercicis (Dudley i col.,

1982). Sembla clar que el metabolisme aeròbic pot millorar-se mitjançant sèries d'exercicis intensos o per exercici continu (de resistència), tot i que l'activitat muscular continuada no sol produir millores en el metabolisme anaeròbic (Hollroy, 1975), tot i que sí ho aconsegueixen les sèries d'exercicis intensos de curta durada (Linossier i col., 1993). Generalment, curts períodes de càrregues musculars d'alta intensitat induïxen una resposta adaptativa en el metabolisme anaeròbic (Thorstensson i col., 1975; Costill i col., 1979). Per altra part, llargs períodes d'esforç no tenen efectes considerables sobre el metabolisme de la fosfocreatina (metabolisme anaeròbic alàctic), però poden induir extenses respostes en el metabolisme glucolític (Sahlin, 1978; Cadefau i col., 1990).

En aquest estudi, els canvis en el metabolisme aeròbic van ser similars als observats en altres protocols de major durada (Simoneau i col., 1986). Aquesta millora en les vies aeròbiques amb exercicis intermitents probablement ve induïda per l'important paper del metabolisme aeròbic com a font d'ATP en els descansos entre la repetició de sèries d'exercicis d'esforç màxim (Bogdanis i col., 1996; Trump i col., 1996). Els intervals de descans tenen un important paper, doncs és durant aquest temps quan es reponen les reserves de glucogen i l'acumulació de lactat és reduïda (Fox i col., 1989) mitjançant la fosforilació oxidativa (Shalin i col., 1979; Gaesser i Brooks, 1984).

En relació amb el metabolisme alàctic, s'ha de fer especial atenció al temps necessari per a la ressíntesi de la fosfocreatina que per al test de 30 seg d'esforç màxim és de 12 minuts (Bogdanis i col., 1995). Aquest període de recuperació pot ser una de les claus per a les adaptacions musculars induïdes per un protocol d'entrenament d'alta intensitat i pot estar relacionat amb l'increment en les concentracions de fosfocreatina observat després de l'entrenament. Augments en les concentracions de fosfocreatina com a conseqüència d'un entrenament ja es van descriure en altres estudis (Eriksson i col., 1973; McDougall i col., 1977); tanmateix, no sempre s'han trobat (Thorstensson i col., 1975; Nevill i col., 1989; Stathis i col., 1994).

Totes aquestes adaptacions, juntament amb l'increment en VO_2 , indiquen una considerable millora en les metabolismes aeròbics i anaeròbics.

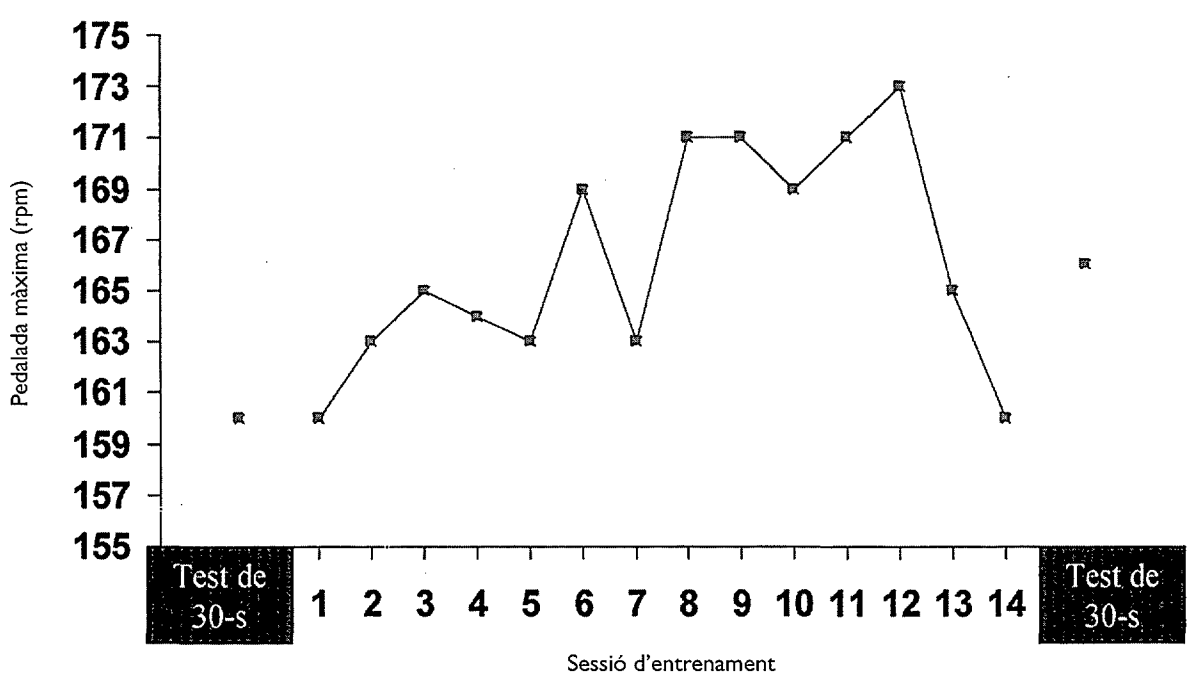
Especialment interessants van ser els resultats dels valors de lactat tant sanguini com els valorats en les biòpsies musculars. La reducció de la concentració de lactat intramuscular al finalitzar el test de 30 seg post-entrenament respecte al test pre-entrenament podria ser degut a diversos factors: l'activació de la glucolisi, un reflux augmentat de lactat per a la

sang (Fox i col., 1989) o a un increment de l'utilització en la fibra muscular. S'ha de considerar també que l'increment pot induir a un augment de l'utilització del lactat com a combustible metabòlic pel sistema aeròbic. L'ús de lactat com a font d'energia muscular va ser descrita com sensible a entrenaments, i programes curts de resistència són capaços d'incrementar el "clearance" del lactat (Phillips i col., 1995). Alteracions induïdes per l'entrenament poden haver provocat una davallada de la degradació de glucogen i una reducció de l'acumulació de lactat en el múscle durant el test d'esforç màxim post-entrenament. Aquesta reducció en la producció d'energia per les vies anaeròbiques s'ha de relacionar amb un increment en l'activitat de les vies oxidatives que tenen un important paper en aquest tipus de test (Granier i col., 1995).

Constrastant amb els valors musculars, es va observar un increment en la concentració de lactat sanguini durant el període de recuperació del test de 30 seg post-entrenament. La cinètica de l'eliminació del lactat en sang per algun transportador de lactat no s'ha establert completament. Tanmateix, aquest mecanisme pot veure's afectat per l'entrenament, permetent, en aquest cas, un augment del lactat en sang (Bonen i col., 1998). Wilson i col. (1998) van descriure un nou transportador de monocarboxilat (MCT3), suggerint que podria ser el responsable del flux de derivats glucolítics de l'àcid làctic del múscul esquelètic de contracció ràpida. Els nostres resultats indiquen que el transport de lactat de la cèl·lula muscular és independent de la concentració muscular de lactat.

Tot i que la millora en el rendiment dels tests d'esforç màxim fos petita (realitzats un dia després de finalitzar l'entrenament), es va observar un significatiu increment en la freqüència de pedalada durant l'entrenament (fig. 2). La davallada en la freqüència de pedalada els darrers 2 dies d'entrenament, podria suggerir l'aparició de símptomes de fatiga en els voluntaris. Addicionalment, un elevat VO_2 màx i una alta concentració de fosfocreatina i glucogen muscular després de l'entrenament, i la baixa concentració de lactat i acidosi durant els test de 30 seg post-entrenament suggereixen que la davallada en el rendiment no té origen energètic. Probablement podria atribuir-se a fatiga neuromuscular, donat que s'ha demostrat que aquesta es presenta després de repeticions d'exercicis d'alta intensitat (amb càrregues elevades), produint variacions en la potència de propagació (Strojnik i Komi, 1998). Quan aquesta fatiga desapareixés, el rendiment del test de 30 seg probablement milloraria degut als paràmetres bioquímiques favorables. El fet que aquest test d'esforç progressiu (on es va detectar una significativa millo-

Figura II Resultats de la pedalada màxima en les sèries de 30 seg durant les sessions d'entrenament. Cada punt representa el promig dels millors resultats de cada voluntari.



ra en el rendiment) es realitzés 5 dies després del test de 30 seg, s'ha de considerar juntament amb el gran nombre d'estudis en els quals es mostra una relació directa entre metabolisme aeròbic i anaeròbic i rendiment (Roberts i col., 1982; Linossier i col., 1997; MacDougall i col., 1998).

Com a conclusió, el present estudi valida l'eficàcia d'un nou programa d'entrenament molt curt, diari i d'alta intensitat (amb un màxim de 5 minuts totals d'exercicis per dia) que pot millorar l'activitat enzimàtica relacionada tant amb el metabolisme aeròbic com amb el anaeròbic en poc més de 2 setmanes. El protocol d'entrenament proposat en aquest estudi augmenta significativament les concentracions dels components energètics (fosfocreatina i glucogen) i l'activitat

enzimàtica de les vies aeròbiques (CS i HADH), anaeròbiques alàctiques (CK) i anaeròbiques làctiques (PFK i LDH) en els músculs. Per tant, es tracta d'un procediment molt curt i adient, i de particular interès quan es requereix un increment de les vies aeròbiques i anaeròbiques en un breu període de temps.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi es va realitzar amb el recolzament de la Direcció General de l'Esport (Generalitat de Catalunya, 1993). CICYT SAF95-1045 i Ministeri de Sanitat (FISS 95/0994). Els autors agraeixen especialment als voluntaris la seva participació en l'estudi.

Bibliografia

Abernethy PJ, Thayer R, Taylor AW (1990) Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise. *Sports Med* 10: 365-389
 Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HKA, Nevill AM (1995) Recovery of power output and muscle metabolites fo-

llowing 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol Lond* 482: 467-480
 Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HKA (1996) Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol* 80: 876-884

- Bonen A, McCullagh KJ, Putman CT, Hultman E, Jones NL, Heigenhauser GJ (1998) Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous lactate in relation to muscle lactate. *Am J Physiol* 274:E102-E107
- Cadefau J, Casademont J, Grau JM, Fernandez J, Balaguer A, Ver-net M, Cusso R, Urbano-Marquez A (1990) Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol Scand* 140: 341-351
- Cadefau J, Green HJ, Cusso R, Ball-Burnett M, Jamieson G (1994) Coupling of muscle phosphorylation potential to glycolysis during work after short-term training. *J Appl Physiol* 76: 2586-2593
- Costill DL, Coyle EF, Fink WF, Lesmes GR, Witzmann FA (1979) Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J Appl Physiol* 46: 96-99
- Dudley GA, Abraham WM, Terjung RL (1982) Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 53: 844-850
- Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. (1973) Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand* 87:485-497
- Essen-Gustavsson B, Henriksson J (1984) Enzyme levels in pools of microdissected human fibres of identified type. *Acta Physiol Scand* 120: 505-515
- Gaesser GA, Brooks GA (1984) Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc* 16: 29-43
- Granier P, Mercier B, Mercier J, Anselme F, Prefaut C (1995) Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur J Appl Physiol* 70: 58-65
- Green HJ, Helyar R, Ball-Burnett M, Kowalchuk N, Symon S, Farrant B (1992) Metabolic adaptations to training precede changes in muscle mitochondrial capacity. *J Appl Physiol* 72: 484-491
- Henriksson J (1996) Muscle adaptation to endurance training: impact on fuel selection during exercise. In: *Biochemistry of Exercise*. Ed Maughan RJ and Shirreffs SM. Vol IX pp 329-338 Human Kinetic Publishers, Inc Champaign, IL
- Holloszy JO (1975) Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise. *Med Sci Sports* 7: 155-164
- Jacobs I, Esbjornsson M, Sylven C, Holm I, Jansson E (1987) Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc* 19: 368-374
- Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geysant A, Lacour JR (1993) Ergometric and metabolic adaptation to 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67: 408-414
- Lowry OH and JV Passonneau (1972) *A Flexible System of Enzymatic Analysis*. Academic Press, New York, USA.
- Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C (1989) Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* 67: 2376-2382
- MacDougall JD, Ward GR, Sale DG, Sutton JR (1977) Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol: Respiratory, Environmental & Exercise Physiology*. 43:700-703
- MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM (1998) Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 84: 2138-2142
- Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Grant SM (1995) Increased clearance of lactate after short-term training in men. *J Appl Physiol* 79: 1862-1869
- Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Heigenhauser GJ, Grant SM (1996) Progressive effect of endurance training on metabolic adaptations in working skeletal muscle. *Am J Physiol* 270: E265-E272
- Roberts AD, Billeter R, Howald H (1982) Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med* 3: 18-21
- Sahlin K (1978) Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man. *Acta Physiol Scand (Suppl)* 455: 1-56
- Sahlin K, Harris RC, Hultman E (1979) Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scand J Clin Lab Invest* 39: 551-558
- Shoemaker JK, Phillips SM, Green HJ, Hughson RL (1996) Faster femoral artery blood velocity kinetics at the onset of exercise following short-term training. *Cardiovasc-Res* 31: 278-286
- Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C (1986) Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training. *Int J Sports Med* 7:167-171
- Stathis CG, Febbraio MA, Carey MF, Snow RJ (1994) Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol* 76: 1802-1809
- Strojnik V, Komi PV (1998) Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol* 84: 344-350
- Thorstensson A, Sjödin B, Karlsson J (1975) Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand* 94: 313-318
- Trump ME, Heigenhauser GJF, Putman CT, Spriet LL (1996) Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *J Appl Physiol* 80: 1574-1580
- Wasserman K (1987) *Principles of exercise testing and interpretation*. Lea & Febiger, Philadelphia, USA.
- Wilson MC, Jackson VN, Heddle C, Price NT, Pilegaard H, Juel C, Bonen A, Montgomery I, Hutter OF, Halestrap AP (1998) Lactic acid efflux from white skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3. *J Biol Chem* 273: 15920-15926