

# La distribució de períodes de descans durant l'entrenament afecta el rendiment i l'adaptació del metabolisme energètic del muscle

JOAN PARRA,<sup>1</sup> JOAN AURELI CADEFAU,<sup>1</sup> GIL RODAS,<sup>2</sup> NARCÍS AMIGÓ<sup>1</sup> I ROSER CUSSÓ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departament de Ciències Fisiològiques I, Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS),

Facultat de Medicina,

Universitat de Barcelona, España

<sup>2</sup> Centre d'Estudis d'Alt Rendiment Esportiu (CEARE),

Secretaria General de l'Esport, Barcelona, España

CORRESPONDÈNCIA:

Dra. Roser Cussó

c/ Casanova 143

Barcelona 08036

FAX: 93 4035882

e-mail: [cusso@medicina.ub.es](mailto:cusso@medicina.ub.es)

**RESUM:** Es va estudiar l'efecte de la distribució dels períodes de descans sobre l'efectivitat d'un entrenament anaeròbic. 10 voluntaris, dividits en dos grups, van realitzar dos entrenaments de 14 sessions, amb diferents períodes de descans. El grup "programa de curta durada" (PCD) va entrenar tots els dies durant 2 setmanes; el grup "programa de llarga durada" (PLD) va entrenar durant 6 setmanes amb un període de descans de dos dies entre cada sessió. Els voluntaris van realitzar un test d'esforç màxim de 30 segons en un cicloergòmetre abans i després de l'entrenament. També abans i després de cada test es van obtenir biòpsies musculars del *vastus lateralis*. Els dos programes van provocar un increment en l'activitat d'enzims glucolítics (fosfofructoquinasa 107% PCD – 68% i aldolasa – PCD 46%, PLD – 28%) i en el metabolisme anaeròbic (citrat sintetasa – PCD 60%, PLD 38,7%). L'activitat creatin-quinasa (44%), piruvirat quinasa (35%) i lactat deshidrogenasa (45%) van augmentar significativament només en el PLD. Al final de l'entrenament, els voluntaris del PCD mostraven una reducció significativa del consum d'ATP ( $p < 0,05$ ) i en la degradació de glucosa ( $p < 0,05$ ) després de l'entrenament tot i que no van millorar el seu rendiment. Contràriament, els voluntaris del PLD van mostrar un augment d'eficàcia ( $p < 0,05$ ), però sense un increment significatiu del consum aeròbic d'ATP i del flux glucolític i glucogenolític. S'arriba a la conclusió que un entrenament en cicloergòmetre d'alta intensitat en 14 sessions millora les activitats enzimàtiques relacionades amb el metabolisme anaeròbic i aeròbic. L'adaptació muscular es veu afectada per la distribució dels períodes de descans, observant-se que períodes més curts de descans provoquen un augment més important en l'activitat de determinats enzims del metabolisme anaeròbic. Tanmateix, el rendiment muscular no va millorar en el programa de curta durada que no incloïa els dies de recuperació, suggerint la possibilitat que les fibres musculars patissin fatiga o lesió.

**PARAULES CLAU:** Descans, fatiga muscular, metabolisme aeròbic, metabolisme anaeròbic.

**SUMMARY.** The effect of the rest period's distribution in the effectiveness of an anaerobic training was studied. 10 volunteers, divided into two groups, carried out two 14-session trainings with different rest periods. The "short duration program" (SDP) group trained everyday throughout 2 weeks; the "long duration program" (LDP) group trained throughout 6 weeks with a two-day rest period between sessions. The volunteers carried out a maximum effort test of 30 seconds in a cycloergometer before and after training. Before and after each test, muscular biopsies were taken from the *vastus lateralis*. Both programs provoked an increase in the glycolytic enzymes (phosphofructokinase 107% SDP – 68% and aldolase – SDP 46%, LDP – 28%) and in the anaerobic metabolism (citrate synthetase – SDP 60%, LDP 38.7%). The activity of creatine kinase (44%), pyruvate kinase (35%) and lactate dehydrogenase (45%) remarkably increased only in the LDP. At the end of the training, the SDP volunteers showed a significant reduction of ATP consumption ( $p < 0.05$ ) and in the glucose degradation ( $p < 0.05$ ), even though they did not improve their performance. On the contrary, the LDP volunteers showed an increased effectiveness ( $p < 0.05$ ), but without a significant increase in the aerobic consumption of ATP and the glycolytic and glucogenolytic. Therefore, a training in a high-intensity cycloergometer during 14 sessions improves the enzymes' activities related to the anaerobic and aerobic metabolisms. The rest period's duration affects muscular adaptation, showing that shorter rest periods provoke an important increase in the activity of certain enzymes of the anaerobic metabolism. However, muscular performance did not improve with the short duration program, which did not include recovery days, meaning that possibly muscular fibres suffered fatigue or injury.

**KEY WORDS:** Rest, muscle fatigue, aerobic metabolism, anaerobic metabolism.

## INTRODUCCIO

L'adaptació muscular que prové de l'entrenament físic sembla estar relacionada amb la quantitat, intensitat, distribució i durada del treball muscular.<sup>1</sup> La combinació d'aquests factors és especialment important en entrenaments d'alta intensitat o anaeròbics donat que les adaptacions bioquímiques depenen del protocol d'activitat contràctil a la qual el múscle es veu sotmesa.<sup>2</sup> Tot i que encara no s'ha descrit una relació directa, algunes adaptacions i una millora en l'eficàcia semblen ser conseqüència dels entrenaments d'alta intensitat.

S'han descrit increments en l'activitat enzimàtica relacionats amb la glucolisi (fosfofructoquinasa, lactat deshidrogenasa i glucogen fosforilasa) i canvis en la concentració d'alguns metabolits com fosfocreatina i glucogen, però els nivells d'aquests canvis varien d'un programa d'entrenament a un altre.<sup>2,3,4,5,6,7,8,9</sup>

Períodes d'activitat contràctil que duren menys de 10 segons es consideren més efectius per a la millora de la capacitat anaeròbica.<sup>7,10</sup> Els temps de recuperació entre els períodes d'activitat són crucials, així com els temps entre sessions.<sup>8</sup> Càrregues musculars intenses i de curta durada amb llargs períodes de descans són adients per induir una resposta adaptativa al metabolisme de la fosfocreatina,<sup>3</sup> mentre que una càrrega d'entrenament més alta no té efecte sobre aquest procés, però sí sembla produir una resposta adaptativa òptima en relació amb el metabolisme del lactat.<sup>5,6</sup>

La distribució de períodes de descans entre els dies d'entrenament és generalment menys conflictiva i els seus efectes sobre l'adaptació induïda per un entrenament han estat poc estudiats, tot i que la possible aparició de fatiga o lesió per sobreentrenament poden ser determinants.

Per analitzar l'efecte de la distribució dels períodes de descans en les adaptacions musculars es van dissenyar dos protocols d'entrenament d'alta intensitat amb càrregues musculars diàries però amb diferents períodes de descans. Es va analitzar l'activitat enzimàtica relacionada amb la glucolisi i el metabolisme de la creatina i el glucogen. També es va valorar l'efecte dels protocols d'entrenament sobre l'eficàcia i el rendiment esportiu en un entrenament de 30 segons en cicloergòmetre.

## METODES

Deu homes sans van acceptar voluntàriament col·laborar en aquest estudi. El seu promig d'edat, alçada i massa corporal era 23,6±2,4 anys, 171,1±3,4 cm i 70,2±4,8 kg respectivament. Tots eren actius però cap estava participant en un

programa d'entrenament. Durant el programa, tots els voluntaris es van abstenir de realitzar activitats físiques llevat de les assignades a l'estudi. Abans d'iniciar el programa, tots els voluntaris es van sotmetre a un reconeixement de les seves condicions de salut. Van ser dividits en dos grups aleatòriament, anomenats "programa de curta durada" (PCD) i "programa de llarga durada" (PLD).

L'experiment es va desenvolupar segons el codi d'ètica de la World Medical Association (Declaration of Helsinki) i l'aprovació la va concedir el Comitè Ètic d'Experimentació en Humans de l'Institut d'Investigació Biomèdica Pi i Sunyer de Barcelona (Hospital Clínic i Provincial – Universitat de Barcelona). Tots el voluntaris van ser informats abans del reclutament sobre el propòsit de l'estudi, els seus riscos i possibles problemes associats amb l'experiment i cadascun va signar el seu consentiment.

**Test d'eficàcia:** Per valorar la capacitat anaeròbica de cada participant i les possibles millores degudes a l'entrenament, els voluntaris es van sotmetre a un test d'esforç màxim en bicicleta (30 seg) un dia abans de l'inici de l'entrenament i 48 hores després de finalitzar les 14 sessions. El test es va realitzar en un cicloergòmetre amb fricció (Monark 814 E, Varberg, Suècia). Un microprocessador, connectat al cicloergòmetre, enregistrava les revolucions per segon en el total dels 30 segons del test d'esforç màxim contra una resistència de 0,075 kg per kg de massa corporal. Amb la progressió de la pedalada i el temps transcorregut es van poder calcular les següents variables: la màxima força aplica durant l'exercici (potència màxima) i la força mitja després de transcorreguts 30 segons (potència mitja).

**Protocol d'entrenament:** En primer lloc, se'ls va familiaritzar amb l'aparell, els procediments i els tests. Els programes (PCD i PLD) estaven constituïts per les mateixes sessions d'entrenament, però amb diferents períodes de descans. El PCD va entrenar tots els dies durant 2 setmanes, mentre que el PLD va entrenar durant 6 setmanes descansant 2 dies entre cada sessió. Les sessions incloïen un escalfament de 15 segons amb 45 segons de descans i un entrenament continu de 30 segons de màxim esforç amb 12 minuts de descans. El nombre de repeticions es va modificar i la càrrega muscular total es va anar incrementant durant l'entrenament. Les primeres sessions van incloure dos torns de 15 segons i dos torns de 30 segons. La tensió de la pedalada va ser de 0,075 kg per kg de massa corporal i va ser constant durant el programa d'entrenament. Es va registrar el nombre màxim de pedalades de cada voluntari en cada torn

de 30 segons. Tots els voluntaris van ser motivats i estimulats durant l'entrenament per pedalar al màxim de les seves possibilitats en cada sessió.

**Biòpsies musculars:** La tècnica de biòpsia per punció es va utilitzar per obtenir una mostra de teixit muscular. Les mostres (30-50 mg) van ser retirades amb anestèsia local (mepivacaïna 2%) de la regió mitja del múscle *vastus lateralis* (*quadriceps femoris*) d'ambdós múscles, 15 cm per sobre de la zona superior de la ròtula el primer dia i 5 cm més amunt el dia següent (48 hores després de finalitzar l'entrenament). El dia del test, els voluntaris van arribar al laboratori 3 hores després del darrer àpat. Rera l'escalfament, es van estirar a la llitera per tal de realitzar les petites incisions en ambdós múscles. A través de la pell i la fàscia, la primera biòpsia muscular va ser del múscle esquerra. Un cop obtinguda la primera biòpsia, els voluntaris van realitzar el test, i la segona biòpsia va ser del múscle dret 30 segons després de la seva finalització, quan encara estaven asseguts en el cicloergòmetre.

El mateix protocol va ser seguit un dia abans (pre) i 2 dies després (post) de l'entrenament. Les mostres es van congelar directament en nitrogen líquid i emmagatzemades a la temperatura de  $-80^{\circ}\text{C}$  fins que van ser liofilitzades i analitzades.

**Estudis bioquímics:** Les mostres van ser netejades de sang i altres teixits. Una part del teixit (20 mg) va ser tractat amb 0,5M HClO<sub>4</sub> i centrifugat a 13.000 g a 4°C durant 15 minuts. El sobrenadant va ser neutralitzat amb 2,1M KHCO<sub>3</sub>. L'extracte neutralitzat es va utilitzar per valorar la fosfocreatina (PCr), ATP, creatina (Cr), glucosa lliure, glucosa 1-fosfat (G-1-P), glucosa 6-P (G-6-P), fructosa 1,6-bisfosfat (F 1,6-P<sub>2</sub>), piruvat (Pyr) i lactat (Lac). Tots els metabolits musculars van ser analitzats fluoromètricament.<sup>11</sup> La concentració de glucogen va ser mesurada en ambdós extractes. En l'extracte neutralitzat en va mesurar IMP, ATP, ADP i AMP utilitzant un mètode per HPLC.<sup>12</sup> Les concentracions de metabolits musculars es van ajustar mitjançant els nivells totals de creatina (PCr + Cr), donat que aquest total es manté constant durant l'exercici.<sup>13</sup> L'ajustament pel contingut total de creatina permet qualsevol variació en constituents sòlids de les biòpsies que no siguin musculars.

Per a la valoració enzimàtica, es va homogeneïtzar una altra porció de múscle procedent de la biòpsia (10 mg) en 30 volums de 50 mM HCl-Tris (pH 7), 4 mM EDTA, 50 mM KF i 30 mM β-mercaptoetanol. La preparació era centrifugada a 15.000 X g a 4°C durant 15 minuts. Les se-

güents activitats van ser valorades en el sobrenadant: glucogen sintetasa (GS), glucogen fosforilasa (GPh), creatina quinasa (CK), fosfofructoquinasa (PFK), aldolasa (ALD), lactat deshidrogenasa (LDH) i piruvat quinasa (PK), tal com ho ha descrit Cadefau i col.<sup>6</sup>; hexoquinasa (HK), citrat de sintetasa (CS), fosfoglucoisomerasa (PGI) i 3-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa (HAD) com Essen-Gustavsson i Henriks-son<sup>14</sup> i mioquinasa (MK) com Oliver<sup>15</sup>.

**Càlculs:** Els valors de Ph en el múscle, abans i després del test, van ser calculats a partir del canvis en les concentracions de lactat i piruvat [mmol (kg per teixit sec)<sup>-1</sup>] com ho descriu Sahlin<sup>16</sup>:  $\text{pH} = 7,06 - 0,004134 ([\text{Lac}] + [\text{Pyr}])$ .

El consum d'ATP [mmol (kg teixit sec)<sup>-1</sup>] durant els tests, abans i després de l'entrenament també es va calcular mitjançant una equació específica,<sup>17</sup> en la qual es van utilitzar els valors obtinguts d'ATP, ADP, PCr, Lac i Pyr abans i després dels 30 segons d'esforç màxim.

$$\text{ATP consum} = 2(-\Delta\text{ATP}) - \Delta\text{ADP} - \Delta\text{PCr} + 1,5 \Delta(\text{Lac}) + 1,5(\Delta\text{Pyr})$$

El flux en les rutes glucogenolítica i glicolítica [unitats en mmol (kg de teixit sec)<sup>-1</sup>] va ser calculat amb les equacions:<sup>17</sup>

$$\text{Índex glicogenolític} = \Delta\text{G-1-P} + \Delta\text{G-6-P} + \Delta\text{F-6-P} + 0,5(\Delta\text{Lac} + \Delta\text{Pyr})$$

$$\text{Índex glicolític} = 0,5 (\Delta\text{lac} + \Delta\text{pyr})$$

L'índex mig va ser calculat dividint els valors absoluts pel temps de test (30 seg).

**Estadística:** Les diferències entre grups abans i després de l'entrenament van ser analitzades pel test no-paramètric de Wilcoxon per a valors aparellats. Les diferències entre els dos grups es van analitzar amb el test no-paramètric de Mann-Whitney per a valors desapparellats. Només van ser considerades significants les diferències amb  $p < 0,05$  i els valors van ser expressats com mitja ± SD (desviació estàndard).

## RESULTATS

Metabolits musculars abans i després de l'entrenament: diversos metabolits es van mesurar en les biòpsies abans i després del test per als dos grups (taules 1, 2). Les concentracions d'ATP i fosfocreatina van minvar significativament en ambdós grups (en tots els casos  $p < 0,05$ ). La concentració d'IMP va augmentar significativament durant els tests en ambdós grups.

La concentració de glucogen va disminuir significativament en ambdós grups ( $p < 0,05$ ) i de forma similar (PCD 29%, PLD 26%). Com a resultat de la degradació del glucogen, la concentració de G-1-P va augmentar significativament, entre 3-4 vegades ( $p < 0,01$  a ambdós grups). La concentració de G-6-P va augmentar més de 10 vegades (a ambdós grups  $p < 0,01$ ). Tal com es pot observar a les taules 1 i 2, no es van detectar diferències entre els grups abans de l'entrenament.

Abans de realitzar l'entrenament, la concentració de lactat va augmentar més de 10 vegades en tots dos grups i l'increment de piruvat va de 5 vegades ( $p < 0,01$  en tots els casos). En augmentar les concentracions de lactat i piruvat en

ambdós grups, les fibres musculars es van acidificar. El pH calculat va caure sensiblement després del test de 30 segons en ambdós grups.

Després de l'entrenament però abans del segon test, tots dos grups van mostrar una concentració similar de metabòlits en repòs. Només es van diferenciar (a favor del PCD) amb l'entrenament en el total de creatina (14%) juntament amb un increment en la fosfocreatina (39%,  $p < 0,05$ ) i en la concentració de glucogen (32%,  $p < 0,05$ ); només del glucogen (30%,  $p < 0,05$ ) va augmentar en el PLD). Per contra, la concentració d'ATP i TAN només van mostrar una petita variació després de 14 sessions d'entrenament en ambdós grups (no significativa).

**Taula I** Concentració de nucleotídics i creatina en biòpsies musculars en el PCD i en el PLD durant el descans i després de 30 seg del test d'esforç màxim en cicloergòmetre abans (pre) i després (post) entrenament

	Grup PCD				Grup PLD			
	Preentrenament		Postentrenament		Preentrenament		Postentrenament	
	Descans	30 s	Descans	30 s	Descans	30 s	Descans	30 s
TP	24.4 ± 0.9	16.8 ± 0.9*	22.6 ± 0.7a	19.4 ± 1.0	24.2 ± 0.9	16.6 ± 0.7*	22.6 ± 0.8	19.8 ± 0.7a
ADP	2.38 ± 0.20	2.76 ± 0.60	1.96 ± 0.20	2.66 ± 0.20	2.34 ± 0.49	2.85 ± 0.32	2.08 ± 0.27	2.30 ± 0.26
AMP	0.25 ± 0.05	0.42 ± 0.03*	0.30 ± 0.07	0.40 ± 0.03	0.26 ± 0.04	0.42 ± 0.08*	0.24 ± 0.05	0.34 ± 0.03
IMP	0.63 ± 0.10	6.65 ± 1.10**	0.57 ± 0.02	1.03 ± 0.20*	0.76 ± 0.12	7.15 ± 1.21**	0.52 ± 0.13	2.55 ± 0.5**#
PCr	55.9 ± 6.6	19.0 ± 8.1**	68.4 ± 2.0a	30.2 ± 8.9**	64.8 ± 8.1	35.5 ± 7.9*	64.2 ± 7.0	19.9 ± 4.8**#
Cr	52.1 ± 10.7	88.1 ± 9.8*	53.7 ± 5.2	93.1 ± 12.5*	44.8 ± 8.7	74.3 ± 11.7*	46.7 ± 4.9	91.1 ± 16**#
Total creatina	107.9 ± 13.2	107.9 ± 14.9	123.0 ± 10.2a	123.0 ± 11.5a	109.8 ± 11.4	109.8 ± 12.7	111.0 ± 8.7	111.0 ± 8.7

Els valors són les mitges ± SD per a cinc voluntaris en cada grup i s'expressen en mmol (kg teixit sec)<sup>-1</sup>. \*\*\*Diferència significativa ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ) entre el descans i després del test en el mateix entrenament. a Diferència significativa ( $p < 0,05$ ) entre valors d'un mateix paràmetre abans i després de l'entrenament. # Diferència significativa ( $p < 0,05$ ) entre valors d'un mateix paràmetre en diferents grups.

**Taula II** Concentració del metabòlits musculars en biòpsies en el PCD i en el PLD durant el descans i després de 30 seg del test d'esforç màxim en cicloergòmetre abans (pre) i després (post) d'entrenament

	Grup PCD				Grup PLD			
	Preentrenament		Postentrenament		Preentrenament		Postentrenament	
	Descans	30 s	Descans	30 s	Descans	30 s	Descans	30 s
Glycogen	251 ± 19	178 ± 26*	332 ± 22a	281 ± 25*a	246 ± 25	181 ± 16*	321 ± 29a	242 ± 19*
G-1-P	0.07 ± 0.01	0.35 ± 0.07**	0.11 ± 0.02	0.29 ± 0.08	0.06 ± 0.02	0.35 ± 0.17**	0.06 ± 0.01	0.36 ± 0.07*
Glucose	3.84 ± 0.98	6.4 ± 1.49	2.87 ± 0.14	4.81 ± 0.91	3.68 ± 0.49	5.78 ± 0.88	3.44 ± 0.76	4.73 ± 0.54
G-6-P	0.72 ± 0.24	15.9 ± 1.8**	1.82 ± 0.39	6.77 ± 3.40a	1.08 ± 0.26	12.67 ± 3.65**	0.73 ± 0.09	19.20 ± 1.85**#
F-6-P	0.48 ± 0.05	3.40 ± 0.35**	0.73 ± 0.07	2.41 ± 0.53*	0.62 ± 0.14	3.23 ± 0.93**	0.75 ± 0.14	3.42 ± 0.69**
Pyr	0.30 ± 0.03	1.49 ± 0.70**	0.58 ± 0.16	1.29 ± 0.33*	0.37 ± 0.11	1.52 ± 0.68**	0.29 ± 0.06	2.27 ± 0.33**
Lac	8.7 ± 0.8	103.5 ± 15**	9.4 ± 2.2	87.0 ± 17.3**	9.0 ± 1.8	105.2 ± 16.6**	6.9 ± 1.0	102.5 ± 19.7**
pH	7.02 ± 0.02	6.63 ± 0.04*	7.02 ± 0.03	6.70 ± 0.04*	7.02 ± 0.02	6.62 ± 0.04*	7.03 ± 0.02	6.63 ± 0.05*

Els valors són les mitges ± SD per a cinc voluntaris en cada grup i s'expressen en mmol (kg teixit sec)<sup>-1</sup>. \*\*\*Diferència significativa ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ) entre el descans i després del test en el mateix entrenament. a Diferència significativa ( $p < 0,05$ ) entre valors d'un mateix paràmetre abans i després de l'entrenament. # Diferència significativa ( $p < 0,05$ ) entre valors d'un mateix paràmetre en diferents grups.

Després del test postentrenament, les concentracions d'ATP i PCr van variar en ambdós grups, però en aquest segon test només la concentració de PCr va disminuir significativament ( $p < 0.01$ , en ambdós grups). La concentració de glucogen també va disminuir significativament en ambdós grups ( $p < 0.05$ ). L'augment de la concentració de lactat després dels postentrenament va ser 9 vegades major en cada grup ( $p < 0.05$ ). El PLD va assolir valors similars als del preentrenament, mentre que el PCD va mostrar una concentració menor de lactat quan es compara amb el test de preentrenament.

**Adaptacions enzimàtiques en l'entrenament:** No es van trobar diferències significatives en les activitats enzimàtiques entre els grups PCD i PLD abans de començar els programes d'entrenament. Tanmateix, diverses activitats enzimàtiques van ser modificades com a resposta a l'entrenament (taula 3).

L'activitat de la creatina quinasa va augmentar significativament en el grup PCD (44%,  $p < 0.05$ ), mentre que en el grup PLD només va mostrar una petita variació (9%). Piruvat quinasa i lactat deshidrogenasa van augmentar significativament ( $p < 0.05$ , 35 i 45% respectivament) en el PCD, però no en el PLD). Totes aquestes activitats enzimàtiques

(CK, PK i LDH) van mostrar diferents ( $p < 0.05$ ) nivells de variació entre els grups PCD i PLD).

Fosfofructoquinasa, aldolasa, citrat sintetasa i 3-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa van augmentar en ambdós grups (en tots els casos  $p < 0.05$ ). Tanmateix, per a les activitats de PFK i HAD l'increment va ser major en el PCD ( $p < 0.05$ ). L'activitat de l'hexoquinasa i fosfoglucosa isomerasa van seguir inalterades o van mostrar petites variacions.

**Test de rendiment i consum d'ATP:** El test de rendiment va mostrar un resultat diferent per als dos grups després de l'entrenament (Fig. 1). El PLD va millorar significativament el valor de força màxima (20%) i la força mitja (14%), mentre que la variació dels mateixos paràmetres en el PCD va ser menor i no significativa (3 i 3% respectivament). La diferència de rendiment entre PCD i PLD va ser significativa ( $p < 0.05$ ). El consum d'ATP i els índex de glucogenolisi i glucolisi durant el test preentrenament van ser similars en ambdós grups, però es van observar diferències en aquests índex després de l'entrenament (taula 4). El PCD va mostrar una davallada en el consum d'ATP (16%,  $p < 0.05$ ) a conseqüència de la reducció del flux en la glucolítica (18%,  $p < 0.05$ ) i glucogenolítica (30%,  $p < 0.05$ ); el PLD va mostrar una petita (no significativa) variació en el con-

**Taula III** Activitats enzimàtiques en biòpsies musculars en el PCD i en el PLD abans (pre) i després (post) de l'entrenament

	Grup PCD			Grup PLD		
	Preentrenament	Postentrenament	% de canvi	Preentrenament	Postentrenament	% de canvi
<b>Metabolisme Anaeròbic Làctic</b>						
MK	2788 ± 459	2711 ± 377	- 2.8 ± 1.4	2463 ± 323	2910 ± 445	+18.1 ± 3.5 #
CK	1087 ± 1686	15608 ± 1873*	+ 43.9 ± 4.8	12434 ± 1823	13571 ± 1990	+9.1 ± 2.1
<b>Metabolisme Anaeròbic Làctic</b>						
GS	7.42 ± 0.72	6.80 ± 0.62	- 8.4 ± 1.7	8.41 ± 1.21	8.81 ± 0.60	+ 4.8 ± 0.9 #
GPh	108.9 ± 8.3	99 ± 13.8	- 9.1 ± 2.7	117 ± 19.5	120.2 ± 19.3	+ 2.7 ± 1.1 #
HK	21.2 ± 0.8	22.3 ± 0.7	+ 5.2 ± 0.4	21.7 ± 0.8	23.3 ± 0.6*	+ 7.4 ± 1.1
PGI	841 ± 30	976 ± 90	+ 16.0 ± 2.1	814 ± 95	861 ± 79	+ 5.8 ± 2.1
PFK	75.3 ± 6.6	155.5 ± 12.4**	+ 106.5 ± 8.2	89.9 ± 15.6	150.7 ± 14.9**	+ 67.6 ± 6.2 #
ALD	317 ± 27	463 ± 52*	+ 46.1 ± 3.8	411 ± 41	526 ± 84*	+ 27.9 ± 4.1
PK	138 ± 45	1872 ± 101*	+35.3 ± 2.7	1587 ± 117	1719 ± 156	+ 8.3 ± 1.9 #
LDH	886 ± 89	1283 ± 124*	+ 44.8 ± 3.1	807 ± 97	876 ± 109	+ 8.6 ± 1.6 #
<b>Metabolisme Aeròbic</b>						
CS	28.1 ± 2.4	38.8 ± 1.6*	+ 38.1 ± 2.0	33.1 ± 3.6	42.5 ± 2.8*	+ 28.4 ± 2.1
HAD	19.3 ± 2.7	30.9 ± 3.1	+ 60.1 ± 4.3	25.3 ± 3.1	35.1 ± 1.9	+ 38.7 ± 3.3#

Els valors són les mitges ± SD per a cinc voluntaris en cada grup i s'expressen en U (g teixit sec)<sup>-1</sup>. \*\*Diferència significativa ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) entre valors abans i després de l'entrenament. # Diferència significativa ( $p < 0.05$ ) entre valors d'un mateix paràmetre en diferents grups. Consum d'ATP i índex de glicogenolisi i glucolisi durant el test.

**Taula IV**

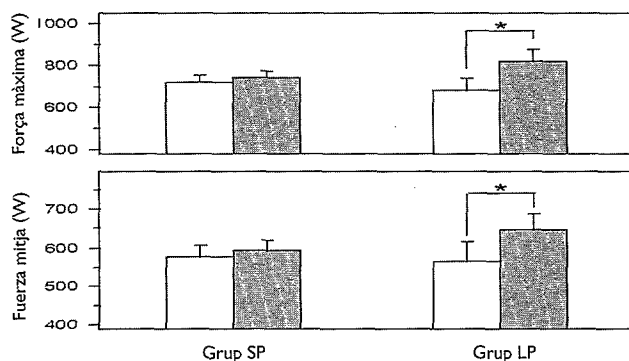
Consum d'ATP i els índex de glucogenolisi i glucolisi en el PCD i en el PLD durant els tests, abans (pre) i després (post) de l'entrenament

	Grup PCD			Grup PLD		
	Preentrenament	Postentrenament	% de canvi	Preentrenament	Postentrenament	% de canvi
Consum d' ATP	193.0 ± 14.7	161.6 ± 11.5*	16.3 ± 4.8	188.6 ± 17.4	194.4 ± 17.1*	+ 3.1 ± 1.1 #
Índex glucogenolisi	65.8 ± 5.5	45.6 ± 5.1*	- 30.7 ± 4.2	62.6 ± 5.8	69.2 ± 5.9#	+ 10.5 ± 2.8 #
Índex glucolisi	47.4 ± 3.8	38.8 ± 3.9*	-18.1 ± 3.1	48.1 ± 4.1	47.8 ± 4.1	- 0.6 ± 0.2 #

Els valors són les mitges ± SD per a cinc voluntaris en cada grup i s'expressen en mmol (kg teixit sec)<sup>-1</sup>.\*\*\*Diferència significativa (p<0,05, p<0,01) entre valors abans i després de l'entrenament. # Diferència significativa (p<0,05) entre valors d'un mateix paràmetre en diferents grups.

**Figura 1**

Força mitja i màxima del PCD i del PLD durant els tests de 30 seg



Preentrenament (columnes blanques) i postentrenament (columnes fosques). Els valors són les mitges ± SD per a cinc voluntaris en cada grup.

\*Diferència significativa (p<0,05) entre valors pre i postentrenament.

sum d'ATP, probablement produït per un increment en els nivells de glucogenolisi (11%).

El PCD va mostrar valors de consum d'ATP i nivells de glucogenolisi i glucolisi menors que el PLD. Mentre que la glucogenolisi va ser significativament diferent entre els grups després de l'entrenament.

## DISCUSSIO

### Resposta metabòlica a l'esforç abans de l'entrenament

L'esforç realitzat durant el test (30 seg de cicloergòmetre) abans de l'entrenament va provocar una sensible reducció en els nivells de concentració d'ATP i PCr musculars,<sup>19,20</sup> així com un increment en la concentració d'IMP en ambdós grups. Aquest increment en la concentració d'IMP muscu-

lar és conseqüència d'un increment en el metabolisme de l'adenina, descrit en esforços d'alta intensitat<sup>21,22</sup> i sembla estar relacionat amb la fatiga.

Durant el test de 30 segons, aproximadament el 30% del glucogen va ser consumit. En els nostres voluntaris, aquest consum es va realitzar a un promig de 1,6 mmol d'unitats de glucosa (kg múscul sec)<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>. Aquest ritme de degradació del glucogen és independent de la durada i de la intensitat de l'esforç, trobant-se diferents valors en la literatura existent. Gaitanos i col.<sup>23</sup> van publicar un valor de 2,2 mmol d'unitats de glucosa (kg múscul sec)<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> després d'un esforç màxim. Sembla que el consum de glucosa per la via anaeròbica no és constant durant un test d'esforç màxim, essent molt més intens a l'inici i ralentitzant-se a mesura que augmenta la durada de l'esforç.

### Efectes de l'entrenament

Com efecte de l'entrenament es van observar valors augmentats en la concentració de glucogen muscular (30%, p<0,05) en ambdós grups. Aquestes variacions també semblen ser sensibles al tipus d'entrenament, depenent del tipus d'esforç i dels períodes de recuperació.<sup>6,24</sup>

### Efectes sobre el metabolisme anaeròbic alàctic

Després de l'entrenament, les activitats enzimàtiques d'ambdós grups van mostrar importants variacions. L'activitat de la creatin-quinasa va mostrar un augment significatiu en el PCD. Aquest enzim, generalment, només mostra petites variacions, potser per la seva gran abundància.<sup>6</sup> Amb aquest estudi s'apunta la possibilitat que els períodes de descans entre les sessions d'entrenament determinin la variació de l'activitat CK muscular.

### Efectes sobre el metabolisme anaeròbic làctic

En la via glucolítica, les activitats de PFK i ALD van augmentar en ambdós grups. Un increment en l'activitat de PFK pot ser previsible després d'un entrenament d'alta intensitat, però la seva extensió sembla dependent del protocol d'entrenament.<sup>6,7</sup> L'activitat de PK i LDH van augmentar significativament només en el PCD. Aquests resultats semblen indicar que com més concentrat és el protocol, majors són les variacions en els enzims glucolítics (PFK, PK i LDH).

### Efectes sobre el metabolisme aeròbic

La millora en el metabolisme aeròbic, representat per l'activitat de CS i HAD és una adaptació poc freqüent en els entrenaments ràpids i curts. Sembla ser que l'alta producció de lactat en repetits torns pot induir una adaptació aeròbica per la millora del sistema que metabolitza l'excés de piruvat a través de la piruvat deshidrogenasa.<sup>2</sup> Si considerem aquesta possibilitat, ambdós programes van ser capaços d'induir una adaptació aeròbica similar, mentre que períodes de descans més breus van induir un gran increment en l'activitat de la HAD ( $P < 0,05$ ).

### Efectes sobre la glucosa a través de la HK

La manca de variacions en l'activitat d'HK dels protocols estudiats, contrasta amb els increments de l'activitat d'HK trobats després d'altres protocols d'entrenament ràpid i curt.<sup>2,8</sup> Aquests autors van descriure un increment en l'activitat d'HK quan la relació recuperació/treball era de 8 (4 min de recuperació entre repeticions de 30 seg)<sup>2</sup> o 11 (55 seg de recuperació entre repeticions de 5 seg)<sup>8</sup> minuts. Les nostres sessions van tenir una relació recuperació/treball de 24 en ambdós grups. Així, aquesta relació dels períodes de recuperació entre els torns pot veure's implicada en l'adaptació de l'ús de glucosa externa a través d'HK.

### Efectes de l'entrenament sobre el metabolisme muscular durant el test postentrenament

La resposta metabòlica muscular al test postentrenament va ser diferent en els dos grups. El consum de glucogen durant el test postentrenament va assolir el 25% de la concentració de descans en el PLD, però només el 15% en el PCD. En conseqüència, els índexs de glucolisi i glucogenolisi durant els tests postentrenament van ser significativament superiors en el PLD. Tanmateix, part d'aquesta diferència va ser conseqüència d'una davallada en els nivells del PCD.

L'increment en l'eficàcia en el PLD durant el test de 30 segons amb esforç màxim va associar-se amb un augment de l'activitat enzimàtica relacionada amb el metabolisme muscular. La relació entre els enzims musculars i l'eficàcia ja ha sigut suggerida per diversos autors.<sup>2,7,8</sup> Mentrestant, una absència de relació entre l'eficàcia millorada (el màxim de força apareix als 5 seg) en un test de 30 seg i el nivell glucolític durant tot el temps del test és una qüestió que ens invita a altres futurs estudis, especialment adreçats a una millor comprensió del metabolisme muscular durant els primers segons d'un exercici d'alta intensitat.

Amb períodes menors de descans, el PCD va consumir menys glucogen i anaeròbicament va generar ATP i va produir menys lactat durant el test postentrenament que abans. Per altra banda, l'eficàcia va ser similar al valor obtingut durant el preentrenament. Per tant, nosaltres suggerim una davallada de la participació del metabolisme anaeròbic i un increment en la participació del metabolisme aeròbic en l'augment de l'activitat de CS i HAD.

Tanmateix, la reducció del consum d'ATP i el fracàs en millorar l'eficàcia en el test postentrenament de 30 segons van ser inesperats, degut a la variació de l'activitat en el PCD que va ser més important que en el PLD. Una possible explicació pot ser que els músculs estaven lesionats o fatigats.<sup>24,25</sup> Exercicis de repetició a una alta intensitat poden provocar pèrdua de  $K^+$  en els múscles que es contrauen<sup>26</sup> i una davallada en el gradient de  $Na^+ - K^+ - ATPase$  s'han descrit en els estats de fatiga muscular.<sup>27</sup> L'homeostasi de  $K^+$  durant els exercicis està relacionada amb la durada dels períodes de descans.<sup>28</sup> Un altre punt crític per explicar la possible relació amb la fatiga és el canvi de les concentracions de  $Ca^{++}$ .<sup>29</sup> Possibles alteracions induïdes per l'entrenament en les concentracions de  $Ca^{++}$  i variacions en el reticle sarcoplasmàtic poden ser dependents de períodes de descans, degut a les diferències de concentracions en els dos grups.

### CONCLUSIO

S'arriba a la conclusió que entrenaments intensos i breus poden produir variacions en l'activitat enzimàtica (PFK, ALD, CS i HAD) del múscles, conjuntament amb increments en la concentració de glucogen. Tanmateix, part d'aquestes modificacions depenen de la distribució dels períodes de descans. Suggerim que algunes adaptacions són millor induïdes per petits períodes de descans (com augment en l'activitat de PFK, HAD, PK i CK, o en la concentració de PCr), mentre que altres (l'activitat LDH) requereixen períodes més llargs.

Els resultats obtinguts semblen indicar que la càrrega muscular, més que no pas la distribució dels descansos, és la que determina l'adaptació metabòlica en el múscle. Tot i que en intentar correlacionar la millora metabòlica amb el rendiment esportiu ens trobem amb desajustaments, possiblement provocats per la fatiga o per lesió del muscular, quan no s'ha permès al múscle disposar del descans mínim necessari.

## AGRAÏMENTS

Aquest estudi ha estat finançat per la Direcció General de l'Esport (Generalitat de Catalunya, 1993) i per CICYT (SAF95-1045 del Ministeri d'Educació i Ciència) i FISS (95/0994 del Ministeri de Sanitat) d'Espanya.

## Bibliografia

- Dudley, G.A., Abraham, W.M. & Terjung, R.L. 1982. Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 53, 844-850.
- MacDougall, J.D., Hicks A.L., MacDonald J.R., McKelvie R.S., Green H.J. & Smith K.M. 1998. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J. Appl. Physiol.* 84, 2138-2142.
- Thorstensson, A., Sjödin, B. & Karlsson, J. 1975. Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol. Scand.* 94, 313-318.
- Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F., Lesmes, G.R. & Witzmann, F.A. 1979. Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J. Appl. Physiol.* 46, 96-99.
- Roberts, A.D., Billeter, R. & Howald, H. 1982. Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int. J. Sports Med.* 3, 18-21.
- Cadefau, J., Casademont, J., Grau, J.M., Fernandez, J., Balaguer, A., Vernet, M., Cusso, R. & Urbano-Marquez, A. 1990. Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol. Scand.* 140, 341-351.
- Linossier, M.T., C. Denis, D. Dormois, A. Geysant, & J.R. Lacour. Ergometric and metabolic adaptation to 5-s sprint training programme. 1993. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67, 408-414.
- Linossier, M.T., D. Dormois, C. Perier, J. Frey, A. Geysant, & C. Denis. 1997. Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 161, 439-445.
- Dawson, B., Fitzsimons, M., Green, S., Goodman, C., Carey, M. & Cole, K. 1998. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78, 163-169.
- Hellsten-Westing, Y., Norman, B., Balsom, P.D. & Sjödin, B. 1993. Decreased resting levels of adenine nucleotides in human skeletal muscle after high-intensity training. *J. Appl. Physiol.* 74: 2523-2528.
- Lowry, O.H. & J.V. Passonneau. 1972. *A Flexible System of Enzymatic Analysis*. Academic Press, New York, USA.
- Ingebretsen, O.C., Bakken, A.M., Segadal, L. & Farstad M. 1982. Determination of adenine nucleotides and inosine in human myocard by ion-pair reversed-phase high-performance liquid chromatography. *J. Chromatography* 242, 119-126.
- Harris, R.C., Edwards, R.H.T., Hultman, E., Nordesjö, L.O., Ny Lind, B. & Sahlin, K. 1976. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps femoris muscle in man. *Pflügers Arch.* 367, 137-142.
- Essen-Gustavsson, B. & Henriksson, J. 1984. Enzyme levels in pools of microdissected human fibres of identified type. *Acta Physiol Scand* 120, 505-515.
- Oliver, I.T. 1955. A spectrophotometric method for the determination of creatine phosphokinase and myokinase. *Biochem. J.* 61, 116-122.
- Sahlin, K. 1978a. Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man. *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)* 455, 1-56.
- Katz, A., K. Sahlin, & J. Henriksson. Muscle ATP turnover rate during isometric contraction in humans. 1986. *J. Appl. Physiol.* 60, 1839-1842.
- Spriet, L.L., Söderlund, K., Bergström, M. & Hultman, E. 1987. Skeletal muscle glycogenolysis, glycolysis, and pH during electrical stimulation in men. *J. Appl. Physiol.* 62, 616-621.
- Stathis, C.G., Febbraio, M.A., Carey, M.F. & Snow, R.J. 1994. Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J. Appl. Physiol.* 76, 1802-1809.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H., Lakomy, H.K.A. & Nevill, A.M. 1995. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J. Physiol. Lond.* 482, 467-480.



21. Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H. & Lakomy, H.K.A. 1996. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J. Appl. Physiol.* **80**, 876-884.
22. Sahlin, K., Palmskog, G. & Hultman, E. 1978b. Adenine nucleotide and IMP contents of quadriceps muscle in man after exercise. *Pflügers Arch.* **374**, 193-198.
23. Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L.H. & Brooks, S. 1993. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* **75**, 712-719.
24. Boobis, L.H., Williams, C. & Wootton, S.A. 1983. Influence of sprint training on muscle metabolism during brief maximal exercise in man (Abstract). *J. Physiol. Lond.* **342**.
25. Allemeier, C.A., Fry, A.C., Johnson, P., Hikida, R.S., Hagerman, F.C. & Staron R.S. 1994. Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* **77**, 2385-2390.
26. McKenna, M.J., Schmidt, T.A., Hargreaves, M., Cameron, L., Skinner, S.L. & Kjeldsen, K. 1993. Sprint training increases human skeletal muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase concentration and improves K<sup>+</sup> regulation. *J. Appl. Physiol.* **75**, 173-180.
27. Lindinger, M.I. & G.J.F. Heigenhauser. The role of ion fluxes in skeletal muscle fatigue. 1991. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **69**, 246-253.
28. Kowalchuk, J.M., G.J.F. Heigenhauser, M.I. Lindinger, J.R. Sutton, & N.L. Jones. Factors influencing hydrogen ion concentration in muscle after intense exercise. 1988. *J. Appl. Physiol.* **65**, 2080-2089.
29. Williams, J.H. & Klug, G.A. 1995. Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review. *Muscle & nerve* **18**, 421-434.

