

Belén Feriche Fernández-Castanys,

Departament d'Educació Física.

Facultat de Ciències de

l'Activitat Física i l'Esport.

Universitat de Granada.

Ángel Gutiérrez Sainz,

Centre d'Alt Rendiment Esportiu

de Sierra Nevada.

Consejo Superior de Deportes.

LA CORBA DE FATIGA DE CARLSON: PARÀMETRE VÀLID PER A L'AVALUACIÓ I CONTROL DE LA CAPACITAT ANAERÒBICA?

Abstract

Paraules clau: capacitat anaeròbica, test de camp, cost cardíac.

The planning of sports training is based on the objective determination of physiological parameters through tests that are valid dependable and easily reproduced.

These parameters have been evaluated in laboratories fitting themselves perfectly to the needs of a correct dose of variables (Wingate et al. 1981, Margaria et al. 1966, Ayalon et al. 1974) yet, on the other hand, the evaluation contributions made in the field are very limited. Carlson's fatigue curve is described as a simple, direct way of evaluating the anaerobic capacity (CA) of a sportsman although it is not clear if it measures the lactic or alactic C.A. With the idea of finding the energetic metabolism implied in this test, 31 sports people, 18 men and 13 women of $21,6 \pm 3,2$ years old were subjected to 10 series of 10 seconds of skipping (counting the cycles or the number of times a leg touched the floor after a complete rope circle), alternating with another 10 series of 10 seconds test. The subjects were monitored throughout the work period and the rest period, obtaining the heart expenditure from the sum of the final heart rate plus that of the 2nd, 4th and 6th minute of the rest period, during which, also, blood samples were taken from an ear lobe previously congested, in the 1st, 3rd, 5th, 7th and 10th minutes of the rest period, and immediately analyzed in an Analox p-LM5, showing an average of the greatest concentration of lactate of $10,9 \pm 5,3$ mMol/l.

The statistical analysis of regression shows a low correlation between the average heart expenditure (501 ± 42 ppm) and the average total cycles ($180,1 \pm 21$) with a value of $R=0,07$ going down to 0,01 and $1,2 \cdot 10^{-6}$ respectively, according to sex (men and women)

We consider, looking at the results, that Carlson's fatigue test curve cannot be presented as a valid method of evaluation and control of the sports training as it shows no relation at all between the concentrations of lactate heart expenditure and performance of the subjects tested under the conditions established in the test.



Resum

La planificació de l'entrenament esportiu es basa en la determinació objectiva de paràmetres fisiològics a través de tests vàlids, fiables i fàcilment reproduïbles.

Aquests paràmetres han estat avaluats en laboratori bo i ajustant-se perfectament a les exigències d'una correcta presa de variables (Wingate i col., 1981; Margaria i col., 1966; Ayalon i col., 1974; etc.), però, això no obstant, les aportacions d'avaluació fetes sobre el terreny són escasses. La Corba de Fatiga de Carlson és descrita com una forma senzilla i directa d'avaluar la capacitat anaeròbica (CA) de l'esportista, per bé que no especifica si mesura la CA alàctica o la làctica. A fi d'esbrinar el metabolisme energètic principalment implicat en aquest test, 31 individus esportistes, 18 homes i 13 dones, de $21,6 \pm 3,2$ anys, van ser sotmesos a 10 sèries de skipping¹ (comptabilitzant els cicles o nombre de vegades que una cama toca a terra després d'un recorregut complet), alternades amb altres 10 sèries de 10" de descans. Els individus van ser monitoritzats durant el període de treball i recuperació i es va obtenir el Cost Cardíac² a partir de la suma de la freqüència cardíaca final més la dels minuts 2, 4 i 6 de la recuperació, durant la qual, a més, es van extreure mostres de sang del lòbul d'una orelleta prèviament hiperhemitzada, en els minuts 1, 3, 5, 7 i 10 de la recuperació i van ser analitzades immediatament en un ANALOX p-LMS, donant una mitjana de la concentració màxima de lactat de $10,9 \pm 5,3$ mMol/l. L'anàlisi estadística de Regressió mostra una

correlació baixa entre el Cost Cardíac mitjà (501 ± 42 ppm) i els Cicles totals mitjans ($180,1 \pm 21$), amb un valor de la $R = 0,07$, que baixa a $0,01$ i $1,2 \cdot 10^{-6}$ respectivament si es tracten per sexes (homes i dones).

Considerem, en vistes dels resultats, que el test de La Corba de Fatiga de Carlson no es presenta com un mètode vàlid d'avaluació i control de l'entrenament esportiu ja que no s'obté cap relació entre les concentracions de lactat, Cost Energètic i rendiment dels subjectes avaluats sota les condicions establertes en el test.

Introducció

Les proves de valoració de la funció aeròbica estan àmpliament divulgades en la literatura científica, mentre que les anaeròbiques són objecte de més discussió en els tractats de fisiologia de l'exercici a causa de la seva objectivació difícil i la distinció entre metabolisme Anaeròbic Alàctic (ANA ALA) i Anaeròbic Làctic (ANA LA) (Martín, 1987).

Activitats molt curtes de potència (velocistes, saltadors, etc.) de durada inferior a 6" depenen quasi exclusivament de l'alliberament immediat d'energia dels fosfàgens intramusculars emmagatzemats. En perllongar l'exercici màxim fins al 60" es redueix la potència i implica un sistema de producció d'energia a curt termini: la glucòlisi ANA amb la formació consegüent d'àcid làctic (subjecte a factors individuals d'entrenament, nutrició i tipus de fibra) (McArdle i col., 1991).

Si disminueix la intensitat i perllonguem l'exercici fins als 2 o 4 minuts, la dependència de les vies energètiques ANA serà menor, i la producció d'ATP esdevindrà cada vegada més important per les vies AE (Chiang i col., 1991).

El metabolisme ANA té un escàs valor pràctic per al desenvolupament d'activitats de la vida quotidiana, però, tanmateix, és fonamental en el d'activitats esportives col·lectives i individuals. La seva difícil valoració d'una forma directa ha dut a desenvolupar proves que l'avaluen en laboratori i sobre el terreny basant-se en l'activació del metabolisme citat amb moviments d'alta intensitat (Donso, 1978) i classificades en ANA ALA i ANA LA en base a la principal funció metabòlica implicada (Chiang i col., 1991).

Margaria, 1966; Ayalon, 1974; Dalmonde i Leonardi, 1975, entre d'altres, van dissenyar tests per avaluar la capacitat ANA ALA en laboratori. De la mateixa manera, són innumerables els tests de camp que s'apliquen a gestos específics de natació, carrera, etc., amb temps sempre inferiors als 10" per tal d'ajustar-se a aquest propòsit.

El test de Wingate (1981) és una de les proves de laboratori més usades per avaluar la funció ANA LA en el tren inferior (aplicable també al superior), utilitzant una bicicleta ergomètrica de fre mecànic amb una resistència inicial de 0,5kg que s'incrementa en els primers 4 a 75g per Kg de pes i començant la prova a partir d'aquest moment. Es comptabilitzen les revolucions cada 5" fins a completar els 30" del test, indicant-nos en relació al seu nombre la potència desenvolupada cada 5" en Kg/seg. A més, disposem d'altres tests per

(1) Skipping: Carrera sobre el propi lloc, sense desplaçament.

(2) Cost Cardíac: Paràmetre emprat per Carlson per expressar l'estat de la capacitat d'anaeròbia dels individus a partir de la suma de la freqüència cardíaca final, després de la realització específica del seu test (protocol de treball usat en aquest estudi) amb la dels minuts 2, 4 i 6 de la recuperació passiva.

	EDAT (anys)	PES (Kg)	TALLA (cm)
HOMES (n=18)	23,9 ± 3,2	76,4 ± 6,8	179,36 ± 5,7
DONES (n=13)	19,3 ± 1,5	61,7 ± 9	169,4 ± 6,3
TOTAL (n=31)	21,6 ± 3,2	69,0 ± 10,3	174,38 ± 7,0

Taula I. Perfil dels individus experimentals expressat en $\bar{x} \pm sd$

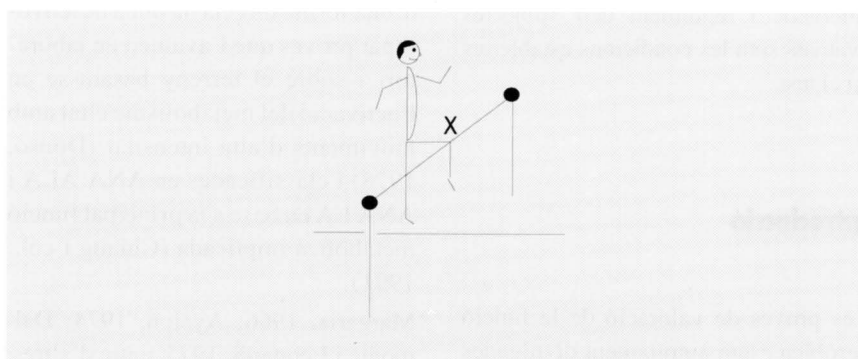


Figura 1. Disseny del treball a realitzar durant les sèries

	CICLES TOTALS	LACTAT mMol/l	COST CARDÍAC
HOMES (n=18)	189,95 ± 0,3	11,8 ± 6,9	517 ± 14
DONES (n=13)	169 ± 6,5	7,75 ± 3,3	473 ± 6
TOTAL (n=31)	180,1 ± 21	9,7 ± 2,8	501 ± 42

Taula II. Valors dels cicles totals, concentracions de lactat assolides i cost cardíac de recuperació, expressat en $\bar{x} \pm sd$

	CICLES TOTALS	COST CARDÍAC	R
HOMES (n=18)	189,95 ± 0,3	517 ± 14	0,01
DONES (n=13)	169 ± 6,5	473 ± 6	$1,2 \cdot 10^{-6}$
TOTAL (n=31)	180,1 ± 21	501 ± 42	0,07

Taula III. Relació nombre total de cicles amb el cost cardíac, expressat en $\bar{x} \pm sd$

avaluar aquesta funció sobre el terreny en diferents grups musculars (per exemple, el nombre de flexions abdominals en 30") o en activitats esportives específiques (com ara els 800m supramàxims en ciclisme) (Martin, 1988). En aquesta línia, l'any 1945, Carlson va proposar un test per avaluar l'estat físic de l'esportista i la seva evolució al llarg de l'entrenament (Fox, 1985). Atesa la importància d'una bona avaluació de la condició física de l'esportista per a un calibratge ajustat de l'entrenament esportiu, i tenint consciència de l'escassetat de tests fiables que es facin sobre el terreny d'una forma senzilla, ens plantejem si la Corba de Fatiga de Carlson podria ser un mitjà d'obtenir informació sobre el metabolisme ANA LAC, en la qual el Cost Cardíac fos un paràmetre vàlid per a l'avaluació i control del rendiment.

Material i mètodes

El grup estudiat era constituït per un total de 31 individus, 18 homes i 13 dones (les dades antropomètriques dels quals apareixen reflectides a la Taula I), practicants de diferents disciplines esportives i habitualment sotmesos a entrenaments esportius sistemàtics.

L'execució dels test de la Corba de Fatiga de Carlson va consistir a alternar 10 períodes de 10" de carrera sobre el propi lloc amb 10 sèries de 10" de descans. Es va partir d'una posició bípeda aproximadament a mig metre del llistó que estableix l'altura d'elevació dels genolls durant el treball i aquesta altura es va ajustar de manera que coincidís amb l'articulació coxofemoral de cada individu (Figura 1).

En cada una de les sèries de treball es comptabilitzaven el nombre de gamba-



des completes o cicles que l'individu realitzava (cada vegada que el peu contrari al que iniciava la carrera tocava a terra). L'individu estava monitoritzat durant tot el procés amb un Sport Tester PM-4000, que va registrar la freqüència cardíaca cada 15". Amb la suma de la freqüència cardíaca final i les dels minuts 2, 4 i 6 de recuperació es va obtenir el paràmetre "Cost Cardíac". En els minuts posteriors al test van ser preses mostres de lactat del lòbul de l'orella prèviament hiperhemitzada (minuts 1, 3, 5, 7 i 10 de recuperació), que van ser analitzades immediatament amb un analitzador de lactat de membrana enzimàtica ANALOX p-LM5.

Les condicions ambientals de realització del test van ser idèntiques per a tots els individus, i per això es va fer servir el laboratori I de la F.C.A.F.D. de la Universitat de Granada.

El tractament estadístic va ser efectuat amb ajut del paquet informàtic Statview, a la recerca d'una significació entre els paràmetres obtinguts a través d'una anàlisi de Regressió per a variables aleatòries quantitatives.

Resultats

La Taula II mostra la valoració funcional expressada a través de diferents paràmetres. Les concentracions de lactat són prou elevades per poder catalogar el test de la Corba de Fatiga de Carlson com a ANA LA amb $10,9 \pm 5,3$ mMol/l de lactat mitjà aconseguit per $180,1 \pm 21$ cicles totals mitjans i al qual correspon un Cost Cardíac mitjà de 501 ± 42 ppm.

A la Figura 2 podem veure com els resultats obtinguts pels homes són significativament més elevats que els de les dones, amb una diferència mitjana de 29,9 cicles, 4,05 mMol/l de lactat i 44 ppm més que elles.

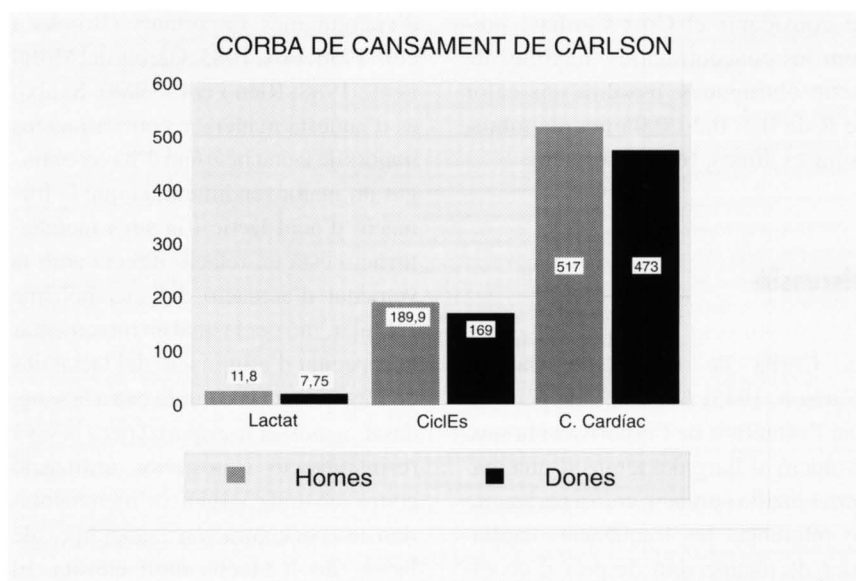


Figura 2. Comparació dels resultats entre sexes

	COST CARDÍAC	LACTAT mMol/l	R
HOMES (n=18)	517 ± 14	11,8 ± 6,9	0,3
DONES (n=13)	473 ± 6	7,75 ± 3,3	0,08
TOTAL (n=31)	501 ± 42	10,9 ± 5,3	0,4

Taula IV. Relació del cost cardíac amb les concentracions de lactat assolides, expressaten $x \pm sd$

	CICLES TOTAIS	COST CARDÍAC	R
HOMES (n=18)	189,9 ± 0,3	11,8 ± 6,9	0,2
DONES (n=13)	169 ± 6,5	7,75 ± 3,3	0,05
TOTAL (n=31)	180,1 ± 21	10,9 ± 5,3	0,3

Taula V. Relació nombre total de cicles amb les concentracions de lactat assolides expressaten $x \pm sd$

A la Taula III apareixen les relacions de significació entre aquests paràmetres funcionals i el rendiment dels esportistes en la realització del test. El Cost Cardíac manté una relació escassa amb els cicles totals dels individus i guarda un nivell de significació R de 0,07 per als resultats totals, que disminueix a 0,01 i a $1,2 \cdot 10^{-6}$ en considerar per separat els resultats d'homes i dones.

A la Taula IV mostrem una significació lleugerament més elevada si es relaciona el Cost Cardíac amb les concentracions màximes de lactat obtingudes augmentant la R a 0,4 i disminuint també en el tractament per separat de les dades dels homes respecte als de les dones a 0,3 i 0,08, respectivament.

La Taula V mostra que aquesta significació tampoc no existeix si, en lloc

de considerar el Cost Cardíac, prenem les concentracions màximes de lactat obtingudes, assolint uns calor de R de 0,3, 0,2 i 0,05 per als totals, homes i dones, respectivament.

Discussió

La Corba de Fatiga de Carlson (Carlson, 1945) és proposada per avaluar l'estat físic de l'esportista i la seva evolució al llarg del temps d'una manera senzilla i prenent com a paràmetre de referència les freqüències cardíques de recuperació després d'un esforç màxim i discontinu de curta durada (Fox, 1985).

Les concentracions de lactat obtingudes ($10,9 \pm 5,3 \text{ mMol/l}$) ens mostren que la Corba de Fatiga de Carlson és un test eminentment làctic. Molts autors consideren la determinació de l'àcid làctic com un mètode molt pràctic per quantificar la resposta metabòlica a l'esforç (García del Moral i col., 1988; Brooks, 1988; Rieu i col., 1988). A partir d'esforços molt intensos de 10" de durada, la via energètica ANA LA es posa en funcionament (McArdle i col., 1990), per bé que hi ha estudis recents que avancen el moment de l'inici de l'acumulació de lactat en haver trobat nivells de lactat significativament més elevats en biòpsies musculars després d'esforços supramàxims inferiors als 10" de durada, valors que es justificarien amb una activació dels sistemes ANA LA immediatament després del començament de l'exercici (Mercier i col., 1991).

Se sap molt bé que encara que el lactat sigui un àcid orgànic poderós i que la seva acumulació provoqui fatiga primerenca, és un indicador clar de la intensitat de l'esforç realitzat. A més, la seva oxidació en el múscul podria suposar una de les vies d'obtenció

d'energia més importants (Brooks i col., 1988; Fox, 1985; García del Moral i col., 1988; Rieu i col., 1988). Si això és d'aquesta manera, a concentracions majors de lactat hauríem d'haver obtingut un major rendiment, ja que la formació d'àcid làctic i la seva metabolització està en relació directa amb la velocitat d'actuació del metabolisme cel·lular, raó per la qual en incrementar la capacitat d'eliminació del lactat des de l'interior de la cèl·lula cap a la sang, des d'on pot ser transportat per a la seva resintetització i posterior utilització com a substrat energètic, s'incrementarien les concentracions sanguínies de lactat fins a nivells molt elevats. El nostre estudi no ho confirma, això. No hem trobat cap mena de relació entre els individus que produeixen més lactat i els que rendeixen més a la prova ($R=0,3$). Per tant, hi deu haver un factor que determini que aquest excés d'energia no es materialitzi en més cicles, i pensem que es pot tractar d'una mala execució del treball establert (skipping).

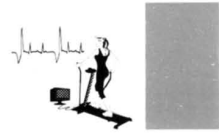
En la Corba de Fatiga de Carlson, un Cost Cardíac que disminueix al llarg del temps indicaria una millora de l'estat físic de l'esportista, i disminuiria el temps que necessita per establitzar la seva freqüència cardíaca a mesura que millora la seva capacitat física al llarg del temps i en una relació constant entre el Cost Cardíac i el rendiment. Aquesta relació posaria de relleu que els millors rendiments es corresponen amb els Costos Cardíacs més baixos. Tanmateix podem trobar-nos amb el cas d'un individu que fa un gran esforç sumant un nombre de cicles important i acumulant un deute elevat d' O_2 , que provoca que la seva freqüència cardíaca de recuperació es mantingui elevada durant més temps, augmentant el Cost Cardíac i falsejant els resultats del test, al costat d'un altre individu que potser realitzi menys cicles, es recuperi abans

i obtingui un Cost Cardíac més baix. Per aquesta raó mai no seria útil comparar aquests resultats de manera absoluta entre els mateixos individus, malgrat que sí que es podrien comparar les corbes de recuperació de la freqüència cardíaca per a un mateix individu i en moments diferents, considerant sempre com a punt de referència la freqüència cardíaca final de treball.

En parlar de deute d' O_2 , cal citar per força el tema de la resíntesi del glucogen a partir del lactat, en l'elaboració del qual es consumeix una part addicional d'oxígen. Per exemple, una producció de 60,5g de lactat o $10,9 \text{ mMol/l}$ necessita 7,26l d' O_2 per a la seva metabolització (Fox, 1985), i per això podríem trobar un Cost Cardíac més elevat en els individus que han acumulat una lactacidèmia major. Això no obstant, tampoc no hem obtingut una relació suficientment significativa entre ambdós paràmetres, que mantenen un valor de $R=0,4$. En altres investigacions (Rieu i col., 1988) es considera que hi ha diferències entre el retorn als valors normals de consum d' O_2 i de lactat en la sang després d'un esforç supramàxim i intermitent en sèries de 45" de treball intercalades amb 45 de descans sobre un tapís rodador. La ràpida normalització dels valors d' O_2 enfront dels del lactat confirma que no hi ha una relació directa entre el deute d' O_2 i els nivells de lactat sanguini després d'un exercici muscular (Rieu i col., 1988), i això justifica en el nostre cas aquesta independència entre el lactat acumulat i el Cost Cardíac malgrat les diferències en els protocols de treball.

Reprenent les consideracions exposades, concloem:

1. La Corba de Fatiga de Carlson produeix elevats nivells de lactat, independents del rendiment dels individus.



2. El valor del paràmetre "Cost Cardíac donat per Carlson també és independent dels cicles totals.
3. La Corba de Fatiga de Carlson, per tant, no és un mètode vàlid per a l'avaluació i el control d'entrenament de la Capacitat Anaeròbica Làctica.

Bibliografia

- AYALON, A; INBAR, O, BAR-OR, O. "Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power". International series on sports Sciences. 1974, 1, *Bio-mechanics IV*, 572-7.
- ASTRAND y RODHAL. "Fisiología del deporte". Panamericana. Madrid. 1985.
- BROOKS, G. A. "Blood lactic acid: Sport "bad boy". Turns good." *Sports Science Exchange*, 1988, 1, 2.
- CHIANG, M. T; LATORRE, P i ZAPATA, E. "Predicción de la potencia máxima aeróbica en escolares a través de la carrera de 30m." *Apunts Educació Física i Esports*. 1991, 25.
- DONSO, H; SCHULER, C; QUINTOM, G; SANTANA, R. "Valoración de la capacidad física en nadadores". *Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte*. 1977, 22, 4-8.
- DOTAN, R; BAR-OR, O. "Load optimization for the Wingate anaerobic test". *European Journal of Applied Physiology*. 1983, 51, 409-407.
- FOX, E. L. "Fisiología del deporte". 1985. Panamericana. Madrid.
- GARCÍA DEL MORAL, L; GARCÍA DEL MORAL, J i RODRIGUEZ, A. "Factores que afectan a la lactacidemia durante un test de esfuerzo". *Archivos de Medicina del Deporte*. 1988, 5, 20, 375-386.
- MARGARIA, R; AGHEMO, P; ROBELLI, E. "Measurement of muscular anaerobic power in man". *Journal of Applied Physiology*. 1966, 21, 1662-1664.
- MARTÍN, J. F. "Métodos de valoración del metabolismo anaeróbico". *Archivos de Medicina del Deporte*. 1987, 3, 9, 71-74.
- MCARDLE, W; KATCH, F i KATCH, V. "Fisiología del ejercicio". 1990. Alianza. Madrid.
- MERCIER, J; MERCIER, B i PREFAUT, C. "Blood lactate increase during de force velocity exercise test". *International Journal of Sports Medicine*. 1991, 12, 17-20.
- PADILLA, S; DARMOIS, D; DENIS, C i LACOUR, J. R. "Capacidad aeróbica y anaeróbica en corredores de medio fondo. Relaciones con la marca de 1.500m en pista". *Archivos de Medicina del Deporte*. 1991, 8, 30, 141-146.
- RIEU, M; DUVALLET, A; SCHARAPAN, L; THIEN-LART, L i FERRY, A. "Blood. lactate accumulator. in intermittent supramaximal exercise". *European journal Applied of Physiology*. 1988, 57, 2, 235-242.