

## **Anaerobiosi a l'exercici: limitacions i implicacions pel rendiment**

## **Anaerobiosis en el ejercicio: limitaciones e implicaciones para el rendimiento**

---

Prof. B. Saltin

University of Copenhagen. August Krofn Institute

---

En l'evolució, la capacitat anaeròbica ha estat un component essencial per a la supervivència, encara més potser que una capacitat aeròbica alta, donat que els nostres antecessors eren caçadors. Un recordatori filogenètic d'això pot ésser el gran elevat potencial per a la glucòlisi que persisteix al múscul esquelètic de l'home. Això es demostra pels elevats nivells d'activitat dels enzims glicolítics que només necessiten una mínima activació per a que es produeixi un elevat nivell d'ATP a través de la glucòlisi. El glucogen també pot ésser emmagatzemat a tot els tipus de fibres musculars humanes esquelètiques a un nivell molt superior al que es troba en altres espècies.

Avui en dia, una capacitat anaeròbica màxima elevada no té significat pràctic a la vida quotidiana, però és de capital importància a l'esport. Ha de recordar-se que l'alliberament d'energia anaeròbica permet ràpides modificacions de la potència de treball muscular, en no haver de recórrer a la producció aeròbica d'ATP, d'evolució molt més lenta. En aquest article es discutiran valoracions, components, limitacions i adaptacions en l'alliberament de l'energia d'origen anaeròbic al múscul.

### **Valoració**

No existeix cap mètode universalment acceptat per a mesurar la capacitat anaeròbica d'una persona. S'han provat diversos procediments, però les diferents proves destinades a quantificar la producció d'energia anaeròbica presenten objeccions.

En la evolució, la capacitat anaeròbica ha sido un componente esencial para la supervivencia, todavía más quizás que una capacidad aeróbica alta, dado que nuestros antecesores eran cazadores. Un recuerdo filogenético de ello puede ser el gran elevado potencial para la glucólisis que persiste en el músculo esquelético del hombre. Esto se demuestra por los elevados niveles de actividad de las enzimas glicolíticas que sólo necesitan una mínima activación para que se produzca un elevado nivel de ATP a través de la glucólisis. El glucógeno también puede ser almacenado en todos los tipos de fibras musculares humanas esqueléticas a un nivel muy superior al que se encuentra en otras especies.

Hoy en día, una capacidad anaeróbica máxima elevada no tiene significado práctico en la vida cotidiana, pero es de capital importancia en el deporte. Debe recordarse que la liberación de energía anaeróbica permite rápidas modificaciones de la potencia de trabajo muscular, al no tener que recurrir a la producción aeróbica de ATP, de evolución mucho más lenta. En este artículo se discutirán valoraciones, componentes, limitaciones y adaptaciones en la liberación de la energía de origen anaeróbico al músculo.

### **Valoración**

No existe un método universalmente aceptado para medir la capacidad anaeróbica de una persona. Se han probado diversos procedimientos, pero

La medició del lactat en sang després d'exercicis exhaustius, ha estat feta servir sovint essent Margaria i col.laboradors els que han arribat més lluny fent-la servir per a calcular l'alliberament de l'energia anaeròbica. Ens trobem, no obstant, amb diverses dificultats. Una d'elles és identificar en quin moment es produeix l'equilibri entre la concentració de lactat al múscul i la concentració de lactat a la sang. Una altra és la variabilitat de l'espai de dilució de lactat. I la tercera dificultat és que el lactat té un alt "turnover". Una fracció substancial del lactat és metabolitzada abans que s'aconsegueixi l'equilibri entre el múscul i la sang i que el lactat estigui uniformement distribuït pels diferents compartiments hídrics corporals. D'aquesta manera, encara que tothom estaria d'acord que el lactat a la sang indica glucòlisi, també és abandonat com a medició quantitativa de la capacitat anaeròbica.

Aviat es va demostrar que el dèficit d'oxigen acumulat durant l'exercici era satisfet durant la recuperació. També es va proposar mesurar el consum d'oxigen durant la recuperació incrementat per sobre del valor de repòs o de preexercici (deute d'oxigen) i es va fer servir com a mesura de la capacitat anaeròbica. Diversos inconvenients limiten la validesa d'aquest procediment. L'energia necessària per a la síntesi de glucosa (o glucogen) a partir de lactat, que té lloc en finalitzar l'exercici i que és un dels components del deute d'oxigen, supera a l'obtinguda en la producció de lactat, amb la qual cosa aquesta pot ésser sobreestimada. A més, una quantitat desconeguda de lactat, que després no apareixerà com a consum "extra" d'oxigen, s'oxida. No obstant, el principal problema està relacionat amb el fet que hi ha altres factors independents de l'elevada quantitat de lactat, que incrementen el consum d'oxigen del cos. L'estimació del consum d'oxigen encara pot usar-se per al càlcul de la capacitat anaeròbica utilitzant diversos factors de conversió (2 o més?) que permetin calcular l'energia anaeròbica en funció del deute d'oxigen, però això no és recomanable. El tercer mètode és determinar el dèficit d'oxigen com es feia abans. Aquest enfoc s'ha fet servir molt; no sempre per a mesurar el dèficit màxim d'oxigen que es podria aconseguir, sinó per a quantificar l'aportació d'energia anaeròbica en el treball realitzat. En l'exercici submàxim de curta durada no hi ha objeccions per a fer servir el dèficit d'oxigen com a mesura de l'alliberament d'energia anaeròbica. Els problemes sorgeixen durant l'exercici extenuant. Si el treball esgota els subjectes en poca estona (aproximadament 1-10 min) és probable que s'arribi a un valor màxim del dèficit d'oxigen. No obstant, per a calcular el dèficit d'oxigen, ha de saber-se amb exactitud la pèrdua d'energia de l'exercici. Això no és difícil en càrregues de treball submàxim, on el consum d'oxigen a "steady state" representa la pèrdua d'energia. No obstant, per a l'exercici

las distintas pruebas destinadas a cuantificar la producción de energía anaeróbica presentan objeciones.

La medición del lactato en la sangre después de ejercicios exhaustivos, ha sido usada a menudo siendo Margaria y colaboradores los que han llegado más lejos, usándola para calcular la liberación de la energía anaeróbica. Nos encontramos, sin embargo, con varias dificultades. Una de ellas es identificar en qué momento se produce el equilibrio entre la concentración de lactato en el músculo y la concentración de lactato en la sangre. Otra es la variabilidad del espacio de dilución para el lactato, y la tercera dificultad es que el lactato tiene un alto "turnover". Una fracción sustancial del lactato, es metabolizada antes de que se consiga el equilibrio entre el músculo y la sangre y de que el lactato esté uniformemente distribuido por los distintos compartimentos hídricos corporales. De este modo, aunque todo el mundo estaría de acuerdo en que el lactato en la sangre indica glucólisis, también es verdad que éste no puede dar un cálculo exacto del nivel de energía anaeróbica, y por ello debería ser abandonado como medición cuantitativa de la capacidad anaeróbica.

Pronto se demostró que el dèficit de oxigeno acumulado durante el ejercicio era satisfecho durante la recuperación. También se propuso medir el consumo de oxigeno durante la recuperación incrementado por encima del valor de reposo o de preejercicio (deuda de oxigeno) y se usó como medida de la capacidad anaeróbica. Varios inconvenientes limitan la validez de este procedimiento. La energía necesaria para la síntesis de glucosa (o glucógeno) a partir de lactato, que tiene lugar al terminar el ejercicio y que es uno de los componentes de la deuda de oxigeno, supera a la obtenida en la producción de lactato, con lo cual ésta puede ser sobreestimada. Además, una cantidad desconocida de lactato, que luego no aparecerá como consumo "extra" de oxigeno, se oxida. Sin embargo, el principal problema está relacionado con el hecho de que hay otros factores independientes de la elevada cantidad de lactato, que incrementan el consumo de oxigeno del cuerpo. La estimación del consumo de oxigeno todavía puede ser usada para el cálculo de la capacidad anaeróbica utilizando varios factores de conversión (¿2 o más?) que permitan calcular la energía aeróbica en función de la deuda de oxigeno, pero esto no es recomendable. El tercer método es determinar el dèficit de oxigeno, como se hacía antes. Este enfoque ha sido muy usado; no siempre para medir el dèficit máximo de oxigeno que se podría conseguir, sino para cuantificar la aportación de energía anaeróbica en el trabajo realizado. En ejercicio submáximo de corta duración no hay objeciones para usar el dèficit de oxigeno como medida de la liberación de energía anaeróbica. Los problemas

extenuant, la validesa del càlcul de la pèrdua real d'energia és menys segura. Aquesta incertesa és deguda a l'inexactitud dels dos mètodes emprats per a calcular les pèrdues d'energia que són, o bé adoptar un determinat rendiment mecànic, o bé extrapolar des de la relació submàxima entre la intensitat de treball i el consum d'oxigen. Tals apreciacions subestimen, probablement, la despesa d'energia real durant el treball màxim, ja que el rendiment és inferior a l'exercici exhaustiu, respecte del submàxim. Malgrat aquests inconvenients, el dèficit màxim d'oxigen (o dèficit d'oxigen acumulat) és el mètode que es recomana emprar com a mesura de capacitat anaeròbica.

El test més emprat per a determinar la capacitat anaeròbica és probablement el "test de Wingate". Té un valor limitat. El temps de treball sol ésser massa curt per a esgotar completament tot el dèficit d'oxigen. Com més curt sigui el temps de treball, més es tractarà d'una mesura referent als altres components del dèficit d'oxigen i menys de l'aportació de la glucòlisi (veure més endavant). A més, la relació: factors contràctils/força del múscul sembla ésser més limitant que els sistemes d'alliberament d'energia. Un altre inconvenient és que s'empra un cicloergòmetre; en efecte, la capacitat de treball anaeròbic queda bàsicament limitada a nivell del múscul en contracció (cèl·lules). Així, la mesura de la potència anaeròbica màxima és un reflex de la capacitat contràctil del múscul implicat en el test més que una estimació metabòlica. A més l'exercici en cicloergòmetre és idoni en el ciclista, però té molt poc valor pràctic per a atletes d'altres esports.

## Components del dèficit d'oxigen

L'energia destinada a cobrir el dèficit d'oxigen s'obté de la glucòlisi així com dels dipòsits d'ATP i de CP. En començar l'exercici les concentracions d'ATP i de CP del múscul són altes (aproximadament 30 mmols/Kg) i quan arriba l'esgotament es redueixen un 20% i un 80-50% respectivament. La proporció real d'aquest component alactàcid varia lleugerament segons la massa muscular implicada en l'exercici. A més, els processos aeròbics també estan inclosos en la valoració del dèficit d'oxigen, ja que es redueix l'oxigen unit a l'hemoglobina des de l'inici fins al final d'un exercici. La magnitud d'aquests components és més petita que la del component lactàcid, i com a màxim, arriba al 30-40% del dèficit total d'oxigen (taula 1).

El més important és que l'entrenament només produeix petites modificacions dels valors absoluts en les aportacions d'aquestes variables al dèficit d'oxigen. Les concentracions d'ATP i CP en el múscul quasi no es veuen afectades per cap tipus d'entrenament i el grau de depleció durant l'exercici

surgen durant el exercici extenuant. Si el treball agota a los sujetos en poco rato (aproximadamente 1-10 min) es probable que se alcance un valor máximo del déficit de oxígeno. Sin embargo, para calcular el déficit de oxígeno, debe saberse con exactitud la pérdida de energía del ejercicio. Ello no es difícil en cargas de trabajo submáximo, donde el consumo de oxígeno en "steady state" representa la pérdida de energía. No obstante, para el ejercicio extenuante, la validez del cálculo de la pérdida real de energía es menos seguro. Esta incertidumbre se debe a la inexactitud de los dos métodos usados para calcular las pérdidas de energía que son, o bien adoptar un determinado rendimiento mecánico, o bien extrapolar desde la relación submáxima entre la intensidad de trabajo y el consumo de oxígeno. Tales apreciaciones subestiman, probablemente, el gasto de energía real durante el trabajo máximo, ya que el rendimiento mecánico es inferior en el ejercicio exhaustivo, respecto del submáximo. A pesar de estos inconvenientes, el dèficit màxim de oxigeno (o dèficit de oxigeno acumulado) es el mètode que se recomienda usar como medida de capacidad anaeròbica.

El test más usado para determinar la capacidad anaeròbica es probablemente el "test de Wingate". Tiene un valor limitado. El tiempo de trabajo suele ser demasiado corto para agotar completamente todo el déficit de oxígeno. Cuanto más corto sea el tiempo de trabajo, más se tratará de una medida referente a los otros componentes del déficit de oxígeno y menos de la aportación de glucólisis (ver más adelante). Además, la relación: factores contráctiles/fuerza del músculo parece ser más limitante que los sistemas de liberación de energía. Otro inconveniente es que se utiliza un cicloergómetro; en efecto, la capacidad de trabajo anaeròbico queda básicamente limitada a nivel del músculo en contracción (células). Así, la medida de la potencia anaeròbica máxima es un reflejo de la capacidad contráctil del músculo implicado en el test más que una estimación metabòlica. Además el ejercicio en cicloergómetro es idóneo en el ciclista, pero tiene muy poco valor práctico para los atletas de otros deportes.

## Componentes del dèficit de oxígeno

La energía destinada a cubrir el dèficit de oxígeno se obtiene de la glucólisis así como de los depósitos de ATP y de CP. Al empezar el ejercicio las concentraciones de ATP y de CP del músculo son altas (aproximadamente 30 mmol.Kg<sup>-1</sup>) y cuando llega el agotamiento se reducen un 20% y un 80-90% respectivamente. La proporción real de este componente alactàcido varia ligeramente según la masa muscular implicada en el ejercicio.

Components	Equivalentes de O <sub>2</sub> (ml.Kg <sup>-1</sup> )		Porcentaje del total %	
	Sedentarios	Ent. An.	Sedentarios	Ent. an.
Oxigeno almacenado a Hb y Mb	5	6	10	8
ATP y CP ("alactàcido")	15	16	30	22
Glucólisis ("lactàcido")	30	48	60	70
Total Equivalentes de O <sub>2</sub> (ml.Kg <sup>-1</sup> )	50	70	100	100

**Taula 1.** Components del dèficit d'oxigen. Valoracions fetes en subjectes sedentaris (sed) i subjectes entrenats anaeròbicament (Ent. an.). En primer lloc, els exercicis impliquen els músculs de les cames (corrent o pedalejant en bicicleta). Noti's que l'entrenament afecta sobretot la producció d'energia de la glucòlisi.

**Tabla 1.** Componentes del dèficit de oxígeno. Valoraciones hechas en sujetos sedentarios y sujetos entrenados anaeròbicamente (Ent. An.). En primer lugar, los ejercicios implican a los músculos de las piernas (corriendo o pedaleando bicicleta). Nótese que el entrenamiento afecta sobre todo la producción de energía de la glucólisis.

ci és més una funció de la intensitat relativa que no de l'estat d'entrenament. L'entrenament de resistència augmenta la quantitat d'hemoglobina (¿i mioglobina?) i per això, també l'oxigen emmagatzemat, però, novament cal tenir en compte que la importància d'aquest factor és petita, comparada amb el dèficit màxim d'oxigen l'elevació del qual es troba relacionada amb una major capacitat de producció de lactat.

S'ha de remarcar que el dèficit és una capacitat, no un índex, així com el consum màxim d'oxigen, i s'utilitza en proporcions variables. La descàrrega d'oxigen de l'hemoglobina i la mioglobina és ràpida i les noves concentracions d'equilibri per l'ATP i CP, baixes en els músculs en contracció s'aconsegueixen en 15-20 segons. La proporció de lactat produït pot ésser extremadament alta i 1-2 mmols/Kg poden ésser acumulats en el múscul en pocs segons, la qual cosa demostra que, en contra de les primeres investigacions, la glucòlisi comença a iniciar-se just al començament de l'exercici dinàmic. Tenint això en compte, podria anticipar-se que tot el dèficit d'oxigen s'utilitza en un o dos minuts. L'entrenament específic pot ésser decisiu i explicaria en part les diferències obtingudes en els resultats.

## Magnitud de la capacitat anaeròbica

Encara que el concepte de dèficit d'oxigen és antic, no ha estat utilitzat de forma sistemàtica per a avaluar la distribució de les capacitats anaeròbiques en l'home. Sembla ésser que la magnitud del dèficit màxim d'oxigen és una mesura reproducible.

Els subjectes estudiats fins ara han tingut una capacitat anaeròbica del voltant de 40-70 mlEquivalent de O<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>. Les parts inferior i mitjana del rang de distribució estan bastant ben establertes. La part superior, al contrari, presenta molt poques observacions, i sols alguns dels competidors eren

Además, los procesos aeróbicos también están incluidos en la valoración del dèficit de oxígeno, dado que se reduce el oxígeno unido a la hemoglobina y la mioglobina desde el inicio hasta el final de un ejercicio. La magnitud de estos componentes es más pequeña que la del componente lactàcido y, como máximo, llega al 30-40% del dèficit total de oxígeno (tabla 1).

Lo más importante es que el entrenamiento sólo produce pequeñas modificaciones de los valores absolutos en las aportaciones de estas variables al dèficit de oxígeno. Las concentraciones de ATP y CP en el músculo casi no se ven afectadas por ningún tipo de entrenamiento y el grado de depleción durante el ejercicio es más una función de la intensidad relativa que del estado de entrenamiento. El entrenamiento de resistencia aumenta la cantidad de hemoglobina (¿y mioglobina?) y por ello, también del oxígeno almacenado, pero nuevamente debe tenerse en cuenta que la importancia de este factor es pequeña, comparada con el dèficit máximo de oxígeno cuya elevación se halla relacionada con una mayor capacidad de producción de lactato.

Hay que remarcar que el dèficit de oxígeno es una capacidad, no un índice, tal como el consumo máximo de oxígeno, y se utiliza en proporciones variables. La descarga de oxígeno de la hemoglobina y la mioglobina es rápida y las nuevas concentraciones de equilibrio para el ATP y CP, bajas en los músculos en contracción se alcanzan en 15-20 segundos. La proporción de lactato producido puede ser extremadamente alta y 1-2 mmol. Kg<sup>-1</sup> pueden ser acumulados en el músculo en pocos segundos, cosa que demuestra que, en contra de las primeras investigaciones, la glucólisis empieza a iniciarse justo al principio del ejercicio en el ejercicio dinámico. Teniendo esto en cuenta, podría anticiparse que todo el dèficit de oxígeno se utiliza en uno o dos minutos. El entrenamiento específico puede ser decisivo y explicaría en parte las diferencias obtenidas en los resultados.

de nivell internacional. A més i com a factor encara més important, els esportistes no eren al "pic" d'entrenament en el moment de l'estudi. Un valor aproximat a 100 mlEquivalent de  $O_2 \cdot Kg^{-1}$  o més, pot ésser un càlcul apropiat per a un bon corredor de mig fons o un ciclista professional.

No existeixen observacions generals de la capacitat anaeròbica en dones. Així, només es pot especular sobre si poden o no aconseguir el mateix dèficit màxim d'oxigen que els homes. L'únic factor clar contra aquesta possibilitat és que amb igual pes corporal la massa muscular seria lleugerament inferior en les dones que, per tal motiu, tindrien probablement una capacitat anaeròbica inferior per Kg de pes corporal.

És important el fet que quan en l'exercici participen intensament altres músculs dels de les cames, com per exemple quan s'exercita tot el cos, el dèficit màxim d'oxigen és molt més gran. Això indica que la magnitud del dèficit màxim d'oxigen és funció de la massa muscular implicada en l'exercici. No hi ha mesures en esportistes d'alt rendiment realitzant exercicis de tot el cos. Així, la proporció màxima per a campions de rem o de natació és fins ara desconeguda. Si posem per cas que un corredor de 800 m d'alt rendiment, amb un equivalent de  $O_2$  de 100 ml/Kg un esportista de rem tindria 150 ml/Kg o més en una cursa.

Els nens en edat prepuberal semblen tenir una capacitat anaeròbica molt inferior a la dels adults. Els adolescents tenen una capacitat anaeròbica de només 35 ml/Kg i l'entrenament de resistència aeròbica només té una petitíssima influència en aquesta capacitat. Les concentracions de lactat tant en el múscul com en la sang són molt baixes en aquests nois. Amb aquests coneixements com a base s'ha arribat sovint a la conclusió que les proves anaeròbiques no són les adequades per a nois, però aquesta interpretació no és certa.

Aquesta interpretació només significa que no realitzen de forma tan eficaç les proves de velocitat. No obstant, tenen probablement l'avantatge que es recuperen més ràpidament ja que han d'eliminar menys lactat. Després de la pubertat, les activitats dels enzims glucolítics dels nois són semblants a les dels adults i, per tant, mostren concentracions de lactat "normals" després d'un treball extenuant.

### **Factors limitants o ¿quina és la causa de l'esgotament?**

Aquesta pregunta ha sorgit repetidament en aquest segle. Tan aviat com s'ha proposat un sol factor genèric com a possible candidat, s'ha evidenciat que aquest compost o mecanisme actuaria només en determinades circumstàncies de treball o participa junt amb altres elements també relacio-

### **Magnitud de la capacidad anaeròbica**

Aunque el concepto de déficit de oxígeno es antiguo, no ha sido utilizado de forma sistemática para evaluar la distribución de las capacidades anaeróbicas en el hombre. Parece ser que la magnitud del déficit máximo de oxígeno es una medida reproducible.

Los sujetos estudiados hasta ahora han tenido una capacidad anaeróbica de alrededor de 40-70 mlEquivalente de  $O_2 \cdot Kg^{-1}$ . Las partes inferior y media del rango de distribución están bastante bien establecidas. La parte superior, por el contrario, presenta muy pocas observaciones, y sólo algunos de los competidores eran de nivel internacional. Además y como factor todavía más importante, los deportistas no estaban en el "pico" del entrenamiento en el momento de estudio. Un valor de cerca de 100 mlEquivalente de  $O_2 \cdot Kg^{-1}$ , puede ser un cálculo apropiado para un buen corredor de medio fondo o un ciclista profesional.

No existen observaciones generales de la capacidad anaeróbica en mujeres. Así, sólo se puede especular sobre si pueden o no conseguir el mismo déficit máximo de oxígeno que los hombres. El único factor claro contra esta posibilidad es que con igual peso corporal la masa muscular sería levemente inferior en las mujeres que, por tal motivo, poseerían probablemente una capacidad anaeróbica menor por Kg de peso corporal.

Es importante el hecho de que cuando en el ejercicio participan intensamente otros músculos además de las piernas, como por ejemplo cuando se ejercita todo el cuerpo, el déficit máximo de oxígeno es mucho mayor. Esto indica que la magnitud del déficit máximo de oxígeno es función de la masa muscular implicada en el ejercicio. No hay mediciones en deportistas de alto rendimiento realizando ejercicios de todo el cuerpo. Así, la proporción máxima para campeones de remo o de natación es hasta ahora desconocida. Si ponemos por caso que un corredor de 800 m de alto rendimiento, con un equivalente de  $O_2$  de 100 ml.Kg<sup>-1</sup>, un deportista de remo tendría 150 ml.Kg<sup>-1</sup> o más en una carrera.

Los niños en edad prepuberal parecen tener una capacidad anaeróbica muy inferior a la de los adultos. Sin embargo, tienen probablemente la ventaja de que se recuperan más rápidamente ya que deben eliminar menos lactato. Después de la pubertad, las actividades de las enzimas glucolíticas de los chicos son parecidas a las de los adultos y, por lo tanto, muestran concentraciones de lactato "normales" después de un trabajo extenuante.

### **Factores limitantes o ¿cuál es la causa del agotamiento?**

Esta pregunta ha surgido repetidamente en este

nats amb la fatiga i l'esgotament. El pH no queda reduït a un valor molt baix malgrat que les concentracions de lactat en el múscul siguin relativament altes. A un pH de 6.7-6.8 l'afinitat pel  $\text{Ca}^{++}$  de les proteïnes contràctils no es veu excessivament afectada. L'increment del grau d'activació de les unitats motores mitjançant l'augment de la concentració de  $\text{Ca}^{++}$  lliure podria compensar perfectament els efectes d'un pH baix. No obstant, es pot argumentar que el desenvolupament màxim de força en cada contracció representa sols una fracció de la seva capacitat de força. En aquestes condicions es precisa la participació suplementària d'un percentatge elevat de la reserva d'unitats motores disponible que ha d'ésser sol·licitada en una proporció elevada ja des de l'inici de l'exercici. En conseqüència, el rendiment del múscul és molt sensible a petites reduccions en el desenvolupament del pic màxim de força de cada fibra individual ja que les altres fibres no poden compensar-ho, degut a que el seu coeficient d'activació és ja òptim.

Quins són els experiments decisius a realitzar? Primer, cal avaluar si la fatiga és central o no. Això es pot investigar mitjançant estimulació elèctrica directa del múscul en estat d'esgotament. Si la fatiga és extrema, les sofisticades anàlisis electromiogràfiques de placa terminal ens revelaran si existeix alteració de la propagació del potencial d'acció i una reducció en la freqüència de l'activació. Aquesta darrera possibilitat és connectada amb el fet que l'espectròmetre de masses va revelar canvis del contingut d'ions en el sistema de túbuls T que inhibeix la seva activació, incluint-hi el sistema sarcoplasmàtic.

## Adaptació-entrenament

El que ha de quedar clar és que part de l'entrenament destinat a augmentar la capacitat anaeròbica està relacionat amb unes condicions que són millorades durant l'entrenament aeròbic convencional. Per exemple, el flux sanguini del múscul, els capilars i els enzims oxidatius que són decisius per al transport i el "turnover" del lactat. D'altra banda, l'augment de l'activitat dels enzims glucolítics, de la capacitat reguladora i dels transportadors de lactat requereix un entrenament específic on s'aconsegueixi potència. Probablement, presenta igual importància, la formació de grans quantitats de lactat, és a dir, l'exercici ha de portar a l'esgotament extrem. No se sap el temps exacte que cal per que tingui lloc l'adaptació, però les darreres variables poden ésser modificades amb un entrenament adequat d'unes setmanes de durada mentre que les variables "aeròbiques" s'adapten molt més lentament. És interessant que l'entrenament aeròbic i anaeròbic poden ésser o han d'ésser combinats.

siglo. Tan pronto como se ha propuesto un sólo factor genérico como posible candidato, se ha evidenciado que este compuesto o mecanismo actuaría sólo en determinadas circunstancias de trabajo o participa junto a otros elementos también relacionados con la fatiga y el agotamiento. El pH no queda reducido a un valor muy bajo a pesar de que las concentraciones de lactato en el músculo sean relativamente altas. A un pH de 6.7-6.8 la afinidad por el  $\text{Ca}^{++}$  de las proteínas contráctiles no se ve excesivamente afectada. El incremento del grado de activación de las unidades motoras mediante el aumento de la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  libre podría compensar perfectamente los efectos de un pH bajo. Sin embargo, se puede argumentar que el desarrollo máximo de fuerza en cada contracción representa sólo una fracción de su capacidad de fuerza. En estas condiciones es preciso la participación suplementaria de un porcentaje elevado de la reserva de unidades motoras disponible que debe ser solicitada en una proporción elevada ya desde el inicio del ejercicio. En consecuencia, el rendimiento del músculo es muy sensible a pequeñas reducciones en el desarrollo del pico máximo de fuerza de cada fibra individual puesto que las otras fibras no pueden compensarlo, ya que su coeficiente de activación es ya óptimo.

¿Cuáles son los experimentos decisivos a realizar? Primero, se debe evaluar si la fatiga es central o no. Esto se puede investigar mediante estimulación eléctrica directa del músculo en estado de agotamiento. Si la fatiga es extrema, los sofisticados análisis electromiográficos de placa terminal nos revelarán si existe alteración de la propagación del potencial de acción y una reducción en la frecuencia de la activación. Esta última posibilidad está conectada con el hecho de que el espectrómetro de masas reveló cambios del contenido de iones en el sistema de túbulos T que inhibe su activación, incluyendo el sistema sarcoplasmático.

## Adaptación – Entrenamiento

La tabla 2 resume los factores importantes que intervienen en la formación de lactato en los músculos contráctiles, su transporte fuera del músculo, su asimilación en la célula y su "turnover" en el cuerpo.

Lo que debe quedar claro es que parte del entrenamiento destinado a aumentar la capacidad anaeròbica està relacionat amb unes condicions que están mejoradas durante el entrenamiento aeròbic convencional. Por ejemplo, el flujo sanguíneo del músculo, los capilares, y las enzimas oxidativas que son decisivas para el transporte y el "turnover" del lactato. Por otra parte, el aumento de la actividad de las enzimas glucolíticas, de la capacidad reguladora y de los transportadores de lacta-

<b>Prueba</b>	<b>Factor limitante</b>	<b>Adaptación</b>
Coeficiente de glucólisis y producción de lactato.	Glucógeno, activadores claves, LDH4-5.	Elevación de la reserva de glucógeno, aumento del contenido de la enzima glucolítica que incluye LDH-5, activación aumentada/menor inhibición.
Acumulación en la fibra del músculo.	Capacidad reguladora, tolerancia al pH.	Incrementa la utilización de CP, eleva los aminoácidos específicos.
Transporte (si se facilita).	Número de transportadores de lactato.	Incrementa el número de transportadores de lactato.
Consumo por fibras adyacentes del músculo (fibras FT y ST).	Formación "propia" de piruvato y lactato, LDH capacidad mitocondrial, relación NAD/NADH.	Aumento de oxigenación de las fibras adyacentes menos activas, aumento del potencial oxidativo y LDH1-2.
Desaparición vía intersticial y sangre.	Densidad capilar, perfusión muscular, consumo por otros tejidos.	Proliferación capilar, mejora de la capacidad circulatoria central (aumento de la perfusión del músculo), aumento del potencial oxidativo de los tejidos inactivos.

**Taula II.** Resum esquemàtic de factors relacionats amb la producció de lactat i el destí del lactat produït en el múscul esquelètic durant l'exercici extenuant. Els possibles factors limitants i les adaptacions també són incloses.

**Tabla II.** Resumen esquemático de factores relacionados con la producción de lactato y el destino del lactato producido en el músculo esquelético durante el ejercicio extenuante. Los posibles factores limitantes y las adaptaciones también están incluidos.

Diversos experiments pràctics confirmen que aquesta combinació pot ésser útil.

to requiere un entrenamiento específico en el que se alcance potencia. Probablemente, presenta igual importancia, la formación de grandes cantidades de lactato, es decir, el ejercicio debe llevar al agotamiento extremo. No se sabe el tiempo exacto que se necesita para que tenga lugar la adaptación, pero las últimas variables "aeróbicas" se adaptan mucho más lentamente. Es interesante que el entrenamiento aeróbico y anaeróbico pueden ser (o deben ser) combinados. Diversos experimentos pràctics confirman que esta combinación puede ser útil.

## **Bibliografía**

SALTIN, B.: "The physiological and biomechanical basis for training and competition". In MEHLUM, S. NILSSON, S. RENSTRÖM. P (eds.): *An update on sports medicine*. Astra-syntex, 1987: 16-59.

SALTIN, B.: "Anaerobic capacity – past, present and prospective. Proceedings from the 7th Int. Biochemistry of Exercise Symp". (ed. A. Taylor). London, Canadá, 1988. Human Kinetics Publ. I11. 1989; in press.

