Monograph

Cinética del Lactato luego del Entrenamiento Intermitente y Continuo

Adnene Gharbi[1,2], Karim Chamari[3], Amjad Kallel[4], Saîd Ahmaidi[5], Zouhair Tabka[1] y Zbidi Abdelkarim[1]

[1]*Laboratory of Cardio-Circulatory, Respiratory, Metabolic and Hormonal Adaptations to the Muscular Exercise, Faculty of Medicine Ibn El Jazzar, Sousse, Tunisia.*
[4]*ISSTEG University Gabes-Tunisia.*

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue valorar los efectos del entrenamiento continuo e intermitente sobre los parámetros de la cinética del lactato y sobre la velocidad aeróbica máxima (MAS) utilizando tests de campo. Veinticuatro hombres estudiantes de deportes fueron divididos en dos grupos de entrenamiento: entrenamiento continuo (CT) y entrenamiento intermitente (IT). Otros seis participantes sirvieron como grupo control (CG) quienes no realizaron ningún tipo de entrenamiento. Los participantes que entrenaron lo realizaron 6 veces por semana durante 6 semanas. Antes y después del entrenamiento, todos los participantes completaron un test de ejercicio progresivo para determinar su MAS, y un test supra-máximo de 30 segundos seguido de 30 minutos de recuperación activa para determinar la curva de recuperación de lactato individual. Se halló que el entrenamiento provocó un incremento significativo de la MAS ($p<0.001$), del intercambio y remoción de lactato y de la concentración máxima de lactato al comienzo de la recuperación ([La]-(0)); tanto en el grupo CT como en el grupo IT; y esto estuvo acompañado por una reducción significativa en el tiempo hasta alcanzar el pico de lactato. Sin embargo, la mejora en la MAS fue significativamente mayor ($p<0.001$) luego del entrenamiento intermitente (15.1 ± 2.4%) que luego del entrenamiento continuo (10.3 ± 3.2%). La capacidad de intercambio y remoción de lactato fueron significativamente mayores en el grupo IT que en el grupo CT ($p<0.05$). Además, el grupo IT mostró un tiempo medio de incremento en la concentración de lactato sanguíneo (t – ½ - [La]) significativamente menor que el grupo CT (7.2 ± 0.5 min vs 7.7 ± 0.3 min, respectivamente) ($p<0.05$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la concentración pico de lactato ($[La]_{pico}$), en el tiempo para alcanzar la $[La]_{pico}$ (t – $[La]_{pico}$), y en la [La]-(0) entre los dos grupos experimentales. Por lo tanto concluimos que tanto el entrenamiento continuo como el entrenamiento intermitente son igualmente efectivos para mejorar el t-$[La]_{pico}$ y la $[La]_{pico}$, aunque el entrenamiento intermitente es más efectivo para mejorar la MAS y para elevar los índices de intercambio (γ1) y remoción (γ2).

Palabras Clave: modelo matemático biexponencial, recuperación, ejercicio supramáximo

INTRODUCCION

Los efectos del entrenamiento y de los métodos de entrenamiento sobre la cinética del lactato han sido ampliamente estudiados, pero las conclusiones continúan siendo controversiales y poco claras. Por ejemplo, algunos investigadores han reportado que mientras que el entrenamiento de la resistencia mejora la capacidad de *clearance* de lactato (Freund et al.,

1992), el entrenamiento intermitente es un método más efectivo para mejorar la capacidad aeróbica y para mejorar el umbral anaeróbico (LT) (Evertsen et al., 2001; Gorostiaga et al., 1991). Otros estudios han producido resultados conflictivos sugiriendo que tanto el entrenamiento continuo como el entrenamiento intermitente son igualmente efectivos para aumentar el LT (Edge et al., 2005; Poole and Gaesser, 1985). La diferencia entre los diferentes enfoques metodológicos y procedimientos experimentales, tales como los tiempos de muestreo del lactato y la utilización de curvas monoexponenciales, en lugar de curvas biexponenciales, para describir la recuperación del lactato podrían explicar algunas de las mencionadas discrepancias. Además, las diferencias en la capacidad de *clearance* de lactato entre individuos desentrenados e individuos entrenados en resistencia se han valorado frecuentemente durante la recuperación posterior a la realización de ejercicios llevados a cabo a la misma intensidad relativa en lugar de al mismo nivel de acumulación de lactato. Si bien, Basset y colaboradores (1991) han intentado manipular esto, ajustando las cargas individuales para provocar la misma concentración de lactato, su hallazgo de que no había diferencias en la concentración pico de lactato entre los grupos garantiza la realización de investigaciones adicionales. Diversos estudios han reportado que el entrenamiento de la resistencia no tiene un efecto significativo sobre la concentración pico de lactato a la velocidad aeróbica máxima (MAS) (Billat et al., 2004; Laffite et al., 2003), sobre la máxima concentración de lactato en estado estable (MLSSc) (Billat et al, 2004), sobre el clearance de lactato sanguíneo (Mayes et al., 1987), el LT (Slawinski et al., 2001) o la velocidad al LT (Laffite et al., 2003). Otros investigadores han reportado que el entrenamiento de la resistencia mejora la capacidad de *clearance* de lactato (), incrementa el LT (Edge et al., 2005; 2006; Evertsen et al., 2001; Poole and Gaesser, 1985), mejora la velocidad a la máxima concentración de lactato en estado estable (MLSSv) (Billat et al., 2004) e incrementa la velocidad al umbral anaeróbico (vLT) (Billat et al., 2004; Evertsen et al., 2001).

El entrenamiento de la resistencia induce adaptaciones en diversos sistemas fisiológicos (i.e., metabólico, cardiovascular, muscular, etc.). Uno de los efectos significativos de estas adaptaciones es la modificación de los parámetros de la cinética del lactato (Edge et al., 2005; Evertsen et al., 2001; Gorostiaga et al., 1991; Messonnier et al., 2006; Poole and Gaesser, 1985). Poole y Gaesser (1985) y Edge et al (2005) han reportado que el entrenamiento intermitente y el entrenamiento continuo tienen efectos similares y positivos sobre el LT. A la inversa, otros estudios han mostrado mayores mejoras en la aptitud aeróbica y el LT luego del entrenamiento intermitente que luego del entrenamiento continuo (Evertsen et al., 2001; Gorostiaga et al., 1991).

Un modelo matemático descriptivo único que incluya dos términos exponenciales para describir la cinética del lactato puede ser usado para representar las curvas de recuperación del lactato luego del ejercicio. Un modelo bicompartimental consistente del lactato en los músculos previamente activos y en los restantes espacios provee la explicación más simple y más real del perfil del lactato (Oyono-Enguelle et al., 1993). La ventaja de este modelo matemático es que puede ser aplicado al ejercicio supra-máximo y puede suministrar información acerca de la capacidad global de intercambio y remoción de lactato.

Para nuestro conocimiento, esta aproximación nunca ha sido aplicada para explicar diferencias en la capacidad de intercambio y remoción de lactato luego del entrenamiento continuo e intermitente. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue utilizar el modelo biexponencial para investigar los posibles beneficios diferenciales del entrenamiento continuo e intermitente sobre la capacidad de intercambio y remoción de lactato.

METODOS

Sujetos

Treinta hombres estudiantes de deportes de la misma academia deportiva, participaron como sujetos del estudio. Se reclutaron doce sujetos para cada uno de los dos grupos experimentales y los restantes 6 sujetos fueron asignados al grupo control. Ninguno de los estudiantes realizaba actividades físicas fuera de la academia. El promedio (±DE) de edad, talla y masa corporal de los participantes fue 20 (2) años, 1.72 (0.02 m) y 72 (3.2) kg, respectivamente. Los sujetos fueron divididos en tres grupos homogéneos de acuerdo con su MAS. Los grupos que entrenaron, llevaron a cabo sus entrenamientos continuos o intermitentes en forma simultánea. Cada participante dio su consentimiento informado por escrito, conociendo los potenciales beneficios y riesgos asociados con el estudio. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética para la investigación del Hospital Farhat Hached, Sousse, Túnez.

Protocolo

Antes y después de las seis semanas de entrenamiento, se llevaron a cabo dos tests de campo los cuales estuvieron separados por un período de 48 horas.

En la primera sesión se llevó a cabo un test de ejercicio continuo progresivo y máximo para medir la velocidad aeróbica máxima (MAS) (Chtara et al., 2005). El test consistió de una prueba de carrera alrededor de una pista de 200 m calibrada mediante marcas de referencia ubicadas cada 20 metros. La velocidad objetivo fue indicada utilizando señales sonoras provenientes de un grabador. La velocidad inicial fue de 8 km/h y se incrementó en 0.5 km/h a cada minuto. La última etapa completada por cada sujeto correspondió a su velocidad aeróbica máxima (MAS).

La segunda sesión fue llevada a cabo para determinar las curvas de recuperación de lactato individuales y la concentración pico de lactato durante la recuperación. El test comenzó con una entrada en calor de 20 min con los sujetos corriendo al 60% de la MAS, luego de lo cual los sujetos realizaron 30 segundos de ejercicio supra-máximo (140% de la MAS), seguidos de 30 minutos de recuperación activa, con los sujetos corriendo al 30% de su MAS. La intensidad de la recuperación activa fue seleccionada para que este dentro del rango recomendado para la extracción de muestras de sanguíneas y para medir la concentración de lactato (Gorostiaga et al., 1991). Las muestras de sangre fueron recolectadas en reposo y, al final del ejercicio (t0) y durante los períodos de recuperación. La velocidad de carrea durante el ejercicio supra-máximo y durante la recuperación activa fue controlada ubicando marcas en la pista cada 20 metros y utilizando señales sonoras para determinar el ritmo de carrera. La realización de este test, luego del período de entrenamiento, fue llevada a cabo utilizando nuevos valores de MAS (i.e., los valores de la MAS obtenidos en la reevaluación de la misma).

Entrenamiento

Se requirió que ambos grupos de entrenamiento completaran la misma cantidad de trabajo durante cada sesión de entrenamiento. La intensidad del entrenamiento fue establecida como un porcentaje de la MAS. Los sujetos de los dos grupos experimentales realizaron seis sesiones semanales de entrenamiento, siendo el séptimo día de reposo, y durante seis semanas consecutivas. El grupo 1 realizó entrenamientos continuos a intensidad moderada (CT), mientras que el grupo 2 realizó entrenamientos intermitentes de alta intensidad (IT). Los sujetos del grupo control no participaron en ningún programa de entrenamiento y fueron instruidos para que mantuvieran sus actividades diarias normales durante el estudio. Todas las sesiones de entrenamiento fueron llevadas a cabo en el campo.

El grupo IT entrenó a una intensidad del 90% de la MAS, la cual se incrementó un 5% cada dos semanas (alcanzando el 10% de la MAS en las dos últimas semanas). Los intervalos de ejercicio tuvieron una duración de 2 minutos con 1 minuto de pausa (índice trabajo/pausa 2:1). La progresión fue controlada alterando la carga y el número de repeticiones realizados en una sesión de entrenamiento.

El grupo CT realizó ejercicios a una intensidad del 60% (semanas 1 y 2), 65% (semanas 3 y 4) y 70% (últimas dos semanas) de la MAS. El entrenamiento se llevó a cabo con carreras continuas (carreas sin períodos de recuperación). La progresión fue controlada incrementando la carga y la duración del ejercicio hasta que la cantidad total de trabajo igualara a la realizada por el grupo IT. Debido a las intensidades de ejercicio seleccionadas y a la equiparación del trabajo total en los dos grupos, la duración de cada sesión de entrenamiento fue similar en ambos grupos. Por ejemplo, cuando un sujeto con una MAS de 17 km/h (entrenamiento al 90% de la MAS durante la semana 1 = 15.3 km/h) en el grupo IT realizaba ocho repeticiones de 2 min (+1 min de pausa), el sujeto con una MAS de 17 km/h (intensidad de entrenamiento al 60% de la MAS durante la semana 1 = 10.2 km/h) en el grupo CT, corría durante 24 min, equiparando la distancia total cubierta.

La duración del entrenamiento en el grupo de entrenamiento intermitente y en el grupo de entrenamiento continuo se incrementó desde 35 min en la primera semana a 75 min en la sexta semana (entrada en calor incluida).

Estos dos tipos de entrenamiento físico fueron precedidos por una entrada en calor al 50% de la MAS. Luego del entrenamiento, los sujetos realizaron el mismo protocolo experimental llevado a cabo durante el período pre-entrenamiento, de manera que se pudieran valorar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento. Ningún sujeto abandonó el estudio antes de la finalización del período de evaluaciones post-entrenamiento y ningún sujeto informó problemas de salud durante el estudio.

Medición y Análisis del Lactato Sanguíneo

Las muestras sanguíneas se recolectaron en las yemas de los dedos de los sujetos y fueron analizadas utilizando un analizador de lactato automatizado (Accutrend, Boehringer Mannheim, Mannheim, Germany), el cual ha sido previamente validado (Fell et al., 1998). La concentración de lactato en reposo se determinó en una muestra recolectada previamente a la entrada en calor. Las posteriores muestras de sangre fueron recolectadas para graficar las curvas de recuperación de lactato individuales. La concentración de lactato fue medida en reposo, y al final de los 30 segundos de ejercicio supra-máximo (tiempo cero de la recuperación) y a los minutos 2, 4, 6, 9, 12, 15, 20, 25 y 30 de la recuperación, siendo de interés para el modelo matemático solo los primeros 15 minutos.

Grupo	Pre-Entrenamiento	Post-Entrenamiento	Δ	%Δ
CT	15.3 (1.3)	16.8 (.9) *†	1.54 (.37) #	10.3 (3.2) †
IT	15.0 (1.2)	17.2 (1.1) *#	2.25 (.19) #‡	15.2 (2.5) †‡
CG	15.2 (1.3)	15.4 (1.0)	.13 (.30)	1.0 (2.0)

***Tabla 1**. Valores medios (±DE) de la velocidad aeróbica máxima (km/h) antes y después de 6 semanas de entrenamiento. CT, entrenamiento continuo; IT, entrenamiento intermitente; CG, grupo control; Δ = post-entrenamiento – pre-entrenamiento; %Δ = ((post-entrenamiento – pre-entrenamiento)/pre-entrenamiento) ×100).* significativamente diferente (p< 0.001) del valor pre-entrenamiento; † p < 0.05 y # p < 0.001, significativamente mayor que el grupo CG; ‡ p < 0.001, significativamente mayor que el grupo CT.*

Este protocolo estandarizado permitió la valoración de la concentración pico de lactato ($[La]_{pico}$) y del tiempo para alcanzar la $[La]_{pico}$ (t – $[La]_{pico}$). El tiempo medio de la remoción de lactato (t – ½ - [La]) fue determinado utilizando la recta de ajuste de la regresión linear entre la concentración de lactato y el tiempo de recuperación (McLellan and Skinner, 1982). El representa t – ½ – [La] representa el tiempo hasta que la concentración de lactato regresa a la mitad del valor delta entre la concentración pico y la concentración de reposo.

Cada curva individual fue ajustada utilizando la siguiente ecuación biexponencial (Freund and Gendry, 1978):

$$[La](t) = [La](0) + A_1 (1 - e^{-\gamma 1 \cdot t}) + A_2 (1 - e^{-\gamma 1 \cdot t}) \text{ Ecuación 1}$$

Donde: [La](t) y [La](0) (mmol/L) son las concentraciones de lactato medidas al tiempo t luego del final del ejercicio y al comienzo de la recuperación, respectivamente.
A_1 y A_2 (en mmol/L) son las amplitudes de los dos componentes exponenciales, y γ1 y γ2 (por minuto) son las constantes de tiempo.

Los parámetros individuales de la función biexponencial fueron ajustados por medio de la técnica de iteración no linear, utilizando el programa Microcal Origin 5.0 para determinar los valores de A1, A2, γ1 y γ2.

Análisis Estadísticos

Todos los resultados están expresados como medias (± DE). Luego de determinar la normalidad de la distribución con el test de Komolgorov-Smirnov, se utilizó el análisis de varianza ANOVA de dos vías para medidas repetidas para valorar las diferencias entre los grupos y entre los tests llevados a cabo antes (pre) y después (post) del período de entrenamiento dentro de cada grupo. Se utilizó el análisis post hoc LSD para determinar donde se produjeron las diferencias significativas. Se utilizó la correlación de Pearson para valorar las relaciones entre las variables. La significancia estadística fue establecida a p<0.05.

RESULTADOS

La Tabla 1 ilustra los cambios absolutos y relativos en la MAS entre las mediciones pre y post entrenamiento. Los valores medios de los parámetros a partir de los ajustes y de la aplicación del modelo se resumen en la Tabla 2 y en la Figura 1. No se hallaron diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las variables antes del entrenamiento (Figura 1, Tablas 1 y 2).

Se halló un efecto significativo del tiempo para la MAS. Las comparaciones post hoc indicaron que la MAS se incrementó significativamente luego del período de entrenamiento, mientras que no se observaron cambios en el grupo control. La mejora de la MAS fue mayor (p<0.001) en el grupo IT (15.19% ± 2.48) que en el grupo CT (10.33% ± 3.22).

La concentración de lactato sanguíneo durante la recuperación antes y después del programa de entrenamiento se ajustó con la Ecuación 1 y los diferentes parámetros de este modelo fueron analizados. Al final del período de entrenamiento, γ1 y γ2 y [La](0) se incrementaron significativamente, y t – ½ – [La] y t-$[La]_{pico}$ se redujeron significativamente tanto en el grupo CT como en el grupo IT, pero no se observaron cambios en el grupo control.

Los parámetros del intercambio (γ1) y la remoción (γ2) del lactato fueron mayores para el grupo IT que para el grupo CT

(Figura 1). Además, el grupo IT mostró un t – ½ – [La] significativamente más corto que el grupo CT (Tabla 2). No se observaron diferencias significativas entre los dos grupos respecto de la [La](0), t-$[La]_{pico}$ y $[La]_{pico}$ (Tabla 2).

		CT	IT	CG
***t-½-[La]* (min)**	Pre	8.75 (.39)	8.87 (.48)	8.79 (.64)
	Post	7.77 (.39) ***†	7.20 (.52)*** #‡	8.54 (.74)
***[La](0)* (mmol·L⁻¹)**	Pre	5.00 (.74)	4.90 (.64)	5.00 (.70)
	Post	6.00 (.64) *†	6.20 (.60) *#	5.10 (.60)
***$[La]_{pico}$* (mmol·L⁻¹)**	Pre	8.75 (.70)	8.47 (.66)	8.40 (.50)
	Post	9.00 (.74) *	9.30 (.75) *	8.30 (.60)
***t-$[La]_{pico}$* (min)**	Pre	3.50 (.90)	3.50 (.90)	3.33 (1.00)
	Post	2.00 (.00) ***†	2.00 (.00) ***†	3.30 (1.00)

Tabla 2. *Valores medios (±DE) del lactato sanguíneo y de los parámetros de la cinética del lactato en los 3 grupos. CT, entrenamiento continuo; IT, entrenamiento intermitente; CG, grupo control; t – ½ – [La]: el tiempo medio de la remoción de lactato sanguíneo; [La](0): valores pre vs post entrenamiento de la concentración de lactato en sangre al comienzo de la recuperación; $[La]_{pico}$: concentración pico de lactato medida durante la recuperación; t$[La]_{pico}$: tiempo hasta alcanzar la concentración pico de lactato. *p<0.05 y ***p<0.001, significativamente diferente del valor pre-entrenamiento. † p < 0.05 y # p < 0.001: cambio significativamente diferente en comparación con el grupo CG; ‡ p < 0.05: significativamente diferente del grupo CT.*

Como se puede observar en la Figura 2, la capacidad de intercambio y remoción de lactato estuvieron positivamente y significativamente correlacionadas con la MAS (r = 0.65 y r = 0.72, respectivamente, p< 0.001). Además, se halló una correlación significativa entre la $[La]_{pico}$ y el t – ½ – [La] (r = - 0.70, p<0.001, Figura 3). Del mismo modo, se halló una correlación significativa entre la [La](0) y la distancia cubierta durante el esprint de 30 s (r = 0.97, p<0.001, Figura 4).

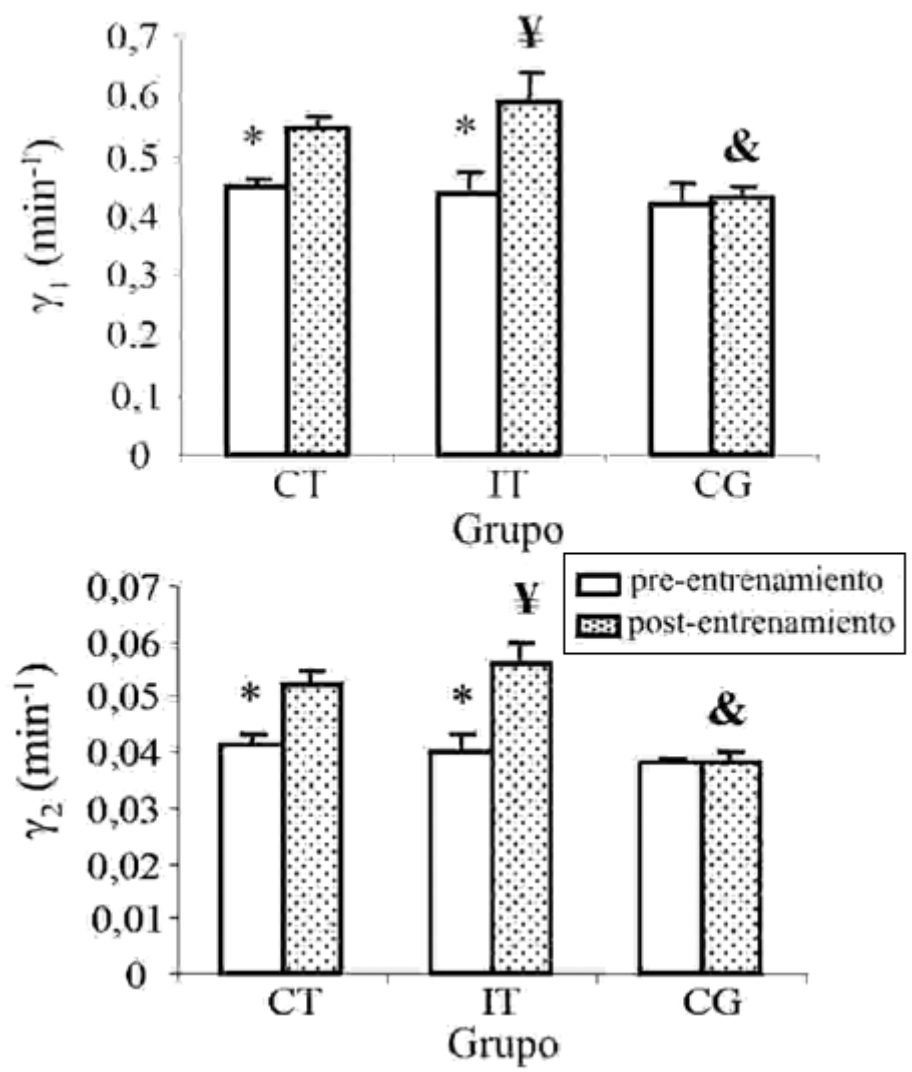

Figura 1. *Valores pre y post entrenamiento de las constantes de velocidad que representan las capacidades de intercambio (γ1) y remoción (γ2) de lactato en los diferentes grupos de entrenamiento. Los resultados se presentan como medias (±DE). *p<0.001: significativamente diferente del valor post-entrenamiento; &p<0.001: cambio significativamente diferente en comparación con los grupos CT e IT; ¥ p<0.05: significativamente diferente del grupo CT.*

DISCUSION

El principal hallazgo del presente estudio sugiere que el entrenamiento intermitente fue más efectivo para mejorar la MAS e incrementar la capacidad de intercambio (γ1) y remoción (γ2) de lactato que el entrenamiento continuo. Sin embargo, ambos modos de entrenamiento fueron igualmente efectivos para alterar la t-$[La]_{pico}$ y la $[La]_{pico}$.

La mejora en la MAS fue 1.5 veces mayor en el grupo IT que en el grupo CT. Algunos investigadores (Evertsen et al., 2001; Gorostiaga et al., 1991) han reportado que el entrenamiento intermitente es un método efectivo para mejorar la capacidad aeróbico, pero otros estudios (Edge et al., 2006; Poole and Gaesser, 1985) no concuerdan con esta conclusión. Nuestros resultados pueden explicarse por la consecuencia de un proceso de adaptación que es el resultado del modo y/o la intensidad del entrenamiento. Esto fue corroborado por un estudio previo (Gorostiaga et al., 1991) que mostró que el IT produjo un mayor incremento en el VO_2máx que el CT, sugiriendo que un rango de intensidades de entrenamiento podrían derivar en una mayor mejora en el VO_2máx (Gorostiaga et al., 1991). La magnitud de la mejora en la MAS luego del entrenamiento intermitente puede verse afectada por el porcentaje de VO_2máx utilizado durante el entrenamiento y por el tiempo durante el cual este es sostenido (Tabata et al., 1997). En efecto, podría ser razonable asumir que un alto consumo de oxígeno obtenido durante el entrenamiento intermitente deriva en un mayor estrés sobre el sistema aeróbico y por lo

tanto provoque un mayor incremento en el VO_2máx (Billat et al., 2000; Tabata et al., 1997). Además, es posible que la intensidad del entrenamiento utilizada durante el entrenamiento continuo no fuera lo suficientemente alta como para maximizar las mejoras en el VO_2máx (Weltman et al., 1992) y para estresar el sistema de transporte de oxígeno al máximo (Tabata et al., 1997). Este modo de entrenamiento continuo podría, por lo tanto, se menos efectivo que el entrenamiento intermitente en cuanto a la mejora de la MAS.

El entrenamiento físico provocó el incremento de γ1 en un 27.7 ± 6.6% y de γ2 en un 32.7 ± 6.3%. Las mejoras en las tasas de intercambio y remoción de lactato, respectivamente, concuerdan con los resultados reportados por Messonnier et al (2006) y por Bret et al (2003). Estas mejoras podrían deberse a un incremento en la densidad capilar de los músculos (Messonnier et al., 2006), de la densidad mitocondrial, del incremento en diversas enzimas del metabolismo oxidativo, y/o de transpotadores monocarboxilados (MCTs) (Thomas et al., 2005).

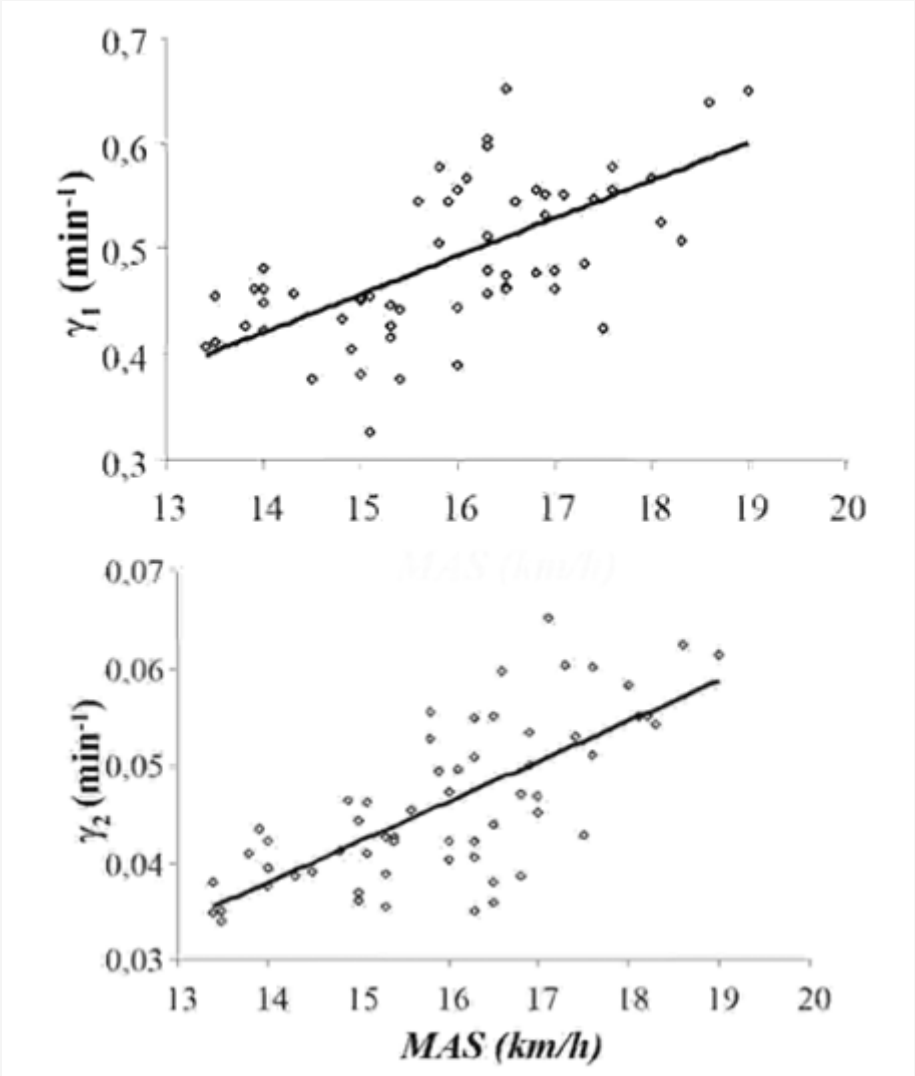

Figura 2.*Relación entre la velocidad aeróbica máxima (MAS) y las capacidades de intercambio (γ1) y remoción (γ2) de lactato. Todos los sujetos combinados.*

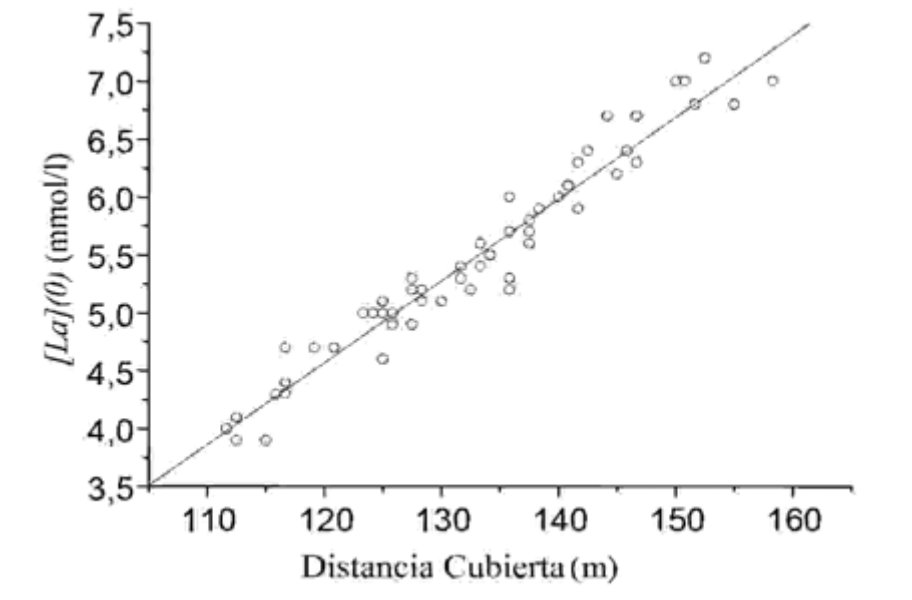

Figura 3.*Relación entre el t-½-[La] y la [Las]$_{pico}$. Todos los sujetos combinados.*

Las estrechas correlaciones significativas entre γ1, γ2 y la MAS sugieren que los sujetos que exhibieron una mayor capacidad de intercambio y remoción de lactato también fueron aquellos que exhibieron una mayor MAS (Figura 2)- por lo tanto, en sujetos ya entrenados (con un VO_2máx y una economía de carrera más o menos estable), la evaluación de la MAS podría proveer una fuerte indicación indirecta de los cambios en las capacidades de intercambio y remoción de lactato. Nuestros resultados concuerdan con los resultados de Messonnier et al (2001) quienes reportaron que las mejoras en la aptitud física están asociadas con un incremento concomitante en la tasa de remoción de lactato. Sin embargo, otros han concluido que el estatus de entrenamiento no tiene efectos sobre la capacidad de remoción de lactato durante la recuperación posterior a series de ciclismo de 3 minutos (Bassett et al., 1991) y posterior al ejercicio de alta intensidad (Oosthuyse and Carter, 1999). La discrepancia con nuestro estudio probablemente se deba a diferencias en el protocolo de estudio, ya que las series de ejercicio de tres minutos no fueron de alta intensidad y resultaron en concentraciones pico de lactato menores que las observadas en el presente estudio. Además, es posible que el modo de recuperación utilizado en estos estudios (pasivo) no sea tan bueno como una completa recuperación activa.

Como se muestra en la Tabla 2, el t-[La]$_{pico}$ pareció reducirse en comparación con los valores pre-entrenamiento. Esto concuerda con los resultados previamente reportados por Bassett et al (1991) quienes hallaron que sujetos entrenados mostraron un menor tiempo hasta el pico de lactato, una indicación de un flujo de lactato más rápido desde los músculos hasta la sangre (Bassett et al., 1991; Freund et al., 1992). Además, los valores del t – ½ – [La] se redujeron luego del entrenamiento (Tabla 2). Este resultado podría ser explicado por el mayor VO_2 observado en sujetos entrenados (Gmada et al., 2005) y una mayor concentración pico del lactato en sangre. La relación observada entre el t– ½ – [La] y la [La]$_{pico}$ (Figura 3) confirma estos datos.

Seis semanas de entrenamiento intermitente o continuo de la resistencia indujeron un incremento significativo en la [La](0) (Tabla 2). Estos cambios son consistentes con los resultados de reportes previos que han mostrado que el entrenamiento puede incrementar la concentración de lactato post ejercicio (Edge et al., 2005; Juel et al., 2004). Estos autores sugirieron que la razón de la mayor liberación de lactato luego del entrenamiento es una combinación del incremento en la producción de lactato y de proteínas transportadoras de H+ (MCT1) con una mejora en el flujo y en la distribución del flujo sanguíneo. Por lo tanto, esto podría explicar el incremento de la distancia cubierta durante el esprint de 30 s luego del entrenamiento. Este hallazgo podría ser confirmado por la correlación positiva hallada entre la [La](0) y la distancia cubierta durante el esprint de 30 segundos y que se muestra en la Figura 4.

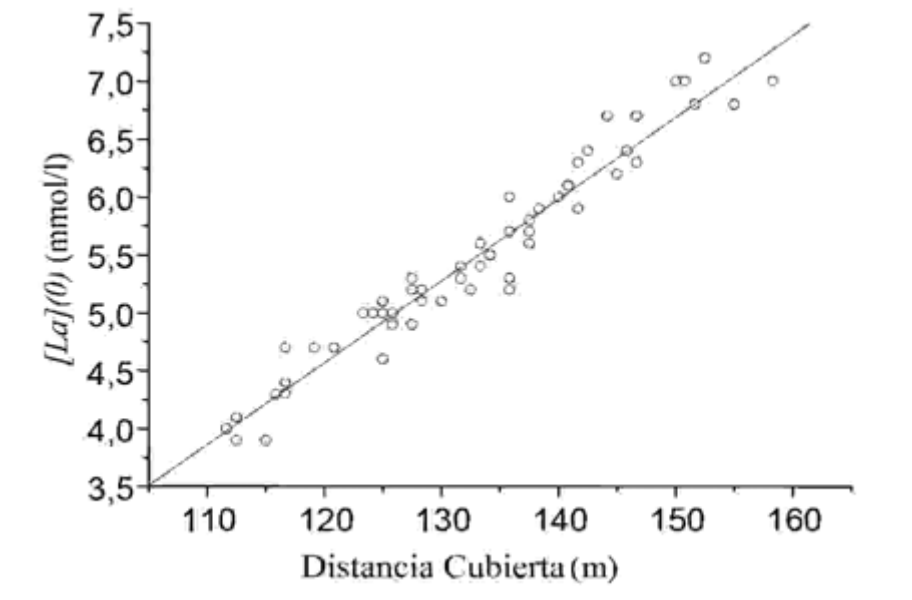

Figura 4. *Relación entre la concentración de lactato al final del ejercicio ([La] (0)) y la distancia cubierta durante 30 segundos. Todos los sujetos combinados.*

Para ser consistentes, hemos aplicado exactamente los mismos protocolos de evaluación antes y después del entrenamiento. Debido a que la MAS se incrementó con el entrenamiento, hubo un inevitable incremento en la velocidad absoluta durante el ejercicio de esprint, y por lo tanto, la mayor [La](0) luego del entrenamiento probablemente se haya debido a la mayor velocidad/intensidad absoluta.

El hecho de que las capacidades de intercambio y remoción de lactato en el grupo IT fueron mayores que en el grupo CT probablemente se deba a las adaptaciones circulatorias y/o metabólicas inducidas por el entrenamiento intermitente, ya que la distancia total cubierta durante el entrenamiento fue idéntica en ambos grupos. De hecho, se admite que las adaptaciones bioquímicas en las fibras lentas y rápidas no son las mismas luego del entrenamiento continuo y fraccionado (Dudley et al., 1982). Estudios llevados a cabo con ratas indican que el entrenamiento fraccionado provoca el incremento de la capacidad oxidativa de las fibras lentas y rápidas (Dudley et al., 1982). De hehco, las fibras ST son muy eficientes para la oxidación de lactato durante el ejercicio y la recuperación (Donovan and and Pagliassotti, 2000). Desde el punto del vista de los efectos del modo de entrenamiento sobre los transportadores de lactato, Evertsen et al (2001) han reportado que el entrenamiento fraccionado mantuvo las concentración de transportadores MCT1, mientras que luego del entrenamiento continuo se observó una reducción de estos transportadores. A partir de esto se concluyó que la mejorada capacidad para la absorción de lactato en los músculos entrenados fue debida al incremento en los transportadores MCT1 (Bonen, 2000). Está bien establecido que la concentración de transportadores MCT1 se incrementa mediante la estimulación crónica o mediante el entrenamiento de alta intensidad; mientras que el entrenamiento de menor intensidad tiene poco efecto sobre la concentración de transportadores MCT1 en los músculos esqueléticos de los humanos (Pilegaard et al., 1999). Consecuentemente, el grupo IT con la mayor intensidad de entrenamiento, en comparación con el grupo CT, podría esperar mostrar la mayor capacidad de intercambio y remoción de lactato.

A pesar de las diferencias en los modos de entrenamiento, nosotros observamos similitudes entre el t-$[La]_{pico}$ y la $[La]_{pico}$ en los dos grupos experimentales. Esto podría estar relacionado con el hecho, como se mencionó en la sección MÉTODOS, de que el muestreo de sangre no se realizó en forma continua y, por lo tanto, no pudimos determinar el tiempo exacto o la concentración precisa de lactato pico en ninguno de nuestros sujetos. No obstante, la medición continua de lactato no es fácil de implementar y los estudios previos han utilizado el método de muestreo intermitente al igual que lo realizado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

En conclusión, hemos investigado las diferencias en las capacidades de intercambio y remoción de lactato luego del

entrenamiento intermitente y continuo aplicando un modelo matemático biexponencial. Los principales hallazgos del presente estudio sugieren que el entrenamiento intermitente fue más efectivo para incrementar la MAS y para incrementar la capacidad de intercambio (γ1) y remoción (γ2) de lactato. Sin embargo, tanto el entrenamiento continuo como el entrenamiento intermitente fueron igualmente efectivos en relación con el t-$[La]_{pico}$ y la $[La]_{pico}$.

Puntos Clave

- Los entrenadores y atletas deberían conocer los efectos potencialmente positivos de la intensidad del ejercicio.
- Las mejoras en la aptitud física están asociadas con el incremento concomitante en la capacidad de remoción de lactato.
- Para reducir la acumulación de lactato e incrementar la velocidad aeróbica máxima al máximo, el entrenamiento fraccionado, con velocidades de carrera iguales al 90-100% de la MAS, pueden ser una manera más efectiva que el entrenamiento continuo.

REFERENCIAS

1. Bassett, D.R., Merrill, P.W., Nagle, F.J. and Sampedro, R (1991). Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects. *Journal of Physiology 70, 1816-1820*
2. Billat, V., Sirvent, P., Lepretre, P.M. and Koralsztein, J.P (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *European Journal of Physiology 447, 875-883*
3. Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P. and Koralsztein, JP (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *European Journal of Applied Physiology 81,188-196*
4. Bonen, A (2000). Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Medicine Science Sports and Exercise 332, 778-789*
5. Bret, C., Messonnier, L., Nouck, J M., Freund, H., Dufour, AB. and Lacour, J R (2003). Differences in lactate exchange and removal abilities in athletes specialised in different track running events (100 to 1500 m). *International Journal of Sports Medicine 24,108-113*
6. Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G.P. and Amri, M (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British Journal of Sports Medicine 339, 555-560*
7. Donovan, C.M. and Pagliassotti, M.J (2000). Quantitative assessment of pathways for lactate disposal in skeletal muscle fiber types. *Medicine Science Sports and Exercise 332, 772-777*
8. Dudley, G.A., Abraham, W.M. and Terjung, R.J (1982). Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology 53, 844-850*
9. Edge, J., Bishop, D., Dawson, B. and Goodman, C (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European Journal of Applied Physiology 96, 97-105*
10. Edge, J., Bishop, D., Goodman, C. and Dawson, B (2005). Effects of High- and Moderate-Intensity Training on Metabolism and Repeated Sprints. *Medicine Science Sports and Exercise 337,1975-1982*
11. Evertsen, F., Medbo, J.I. and Bonen, A (2001). Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross- country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica 173,195-205*
12. Fell, J.W., Rayfield, J.M., Gulbin, J.P., Gaffney, P.T (1998). Evaluation of the Accusport Lactate Analyzer. *International Journal of Sports Medicine 19,199-204*
13. Freund, H and Gendry, P (1978). Lactate kinetics after short strenuous exercise in man. *European Journal of Applied Physiology 39, 123-135*
14. Freund, H., Lonsdorfer, J., Oyono-Enguelle, S., Lonsdorfer, A. and Bogui, P (1992). Lactate exchange and removal abilities in sickle cell patients and in untrained and trained healthy humans. *Journal of Applied Physiology 73, 2580-2587*
15. Gmada, N., Bouhlel, E., Mrizek, I., Debabi, H., Ben Jabrallah, M., Tabka, Z., Feki, Y.and Amri, M (2005). Effect of combine active recovery from supramaximal exercise on blood lactate disappearance in trained and untrained man. *International Journal of Sports Medicine 26, 1-6*
16. Gorostiaga, E.M., Walter, C.B., Foster, C. and Hickson, R.C (1991). Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology 63,101-107*
17. Juel, C., Klarskov, C., Neilsen, J.J., Krustrup, P., Mohr, M. and Bangsbo, J (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H+ release from human skeletal muscle. *American Journal of Physiology 286, E245-251*
18. Laffite, L.P., Mille, H.K. and Billat, V.L (2003). The effects of interval training on oxygen pulse and performance in supra-threshold runs. *Archives of Physiology & Biochemistry 111, 202-210*
19. Mayes, R., Hardman, A.E. and William, C (1987). The influence of training on endurance and blood lactate concentration during submaximal exercise. *British Journal of Sports Medicine 221, 119-124*
20. McLellan, T.F. and Skinner, J.C (1982). Blood lactate removal during recovery related to the aerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine 3, 224-229*

21. Oosthuyse, T. and Carter, RN (1999). Plasma lactate decline during passive recovery from high intensity exercise. *Medicine Science Sports and Exercise 331, 670-674*
22. Oyono-Enguelle, S., Freund, H., Lampert, E., Lonsdorfer, A. and Lonsdorfer, J (1993). Modeling lactate kinetics during recovery from muscular exercise in human. 1. Inluence of some physiological factors. *Science & Sports 8, 181-187*
23. Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, AP. and Bangsbo, J (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H+ transport capacity in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology 276, E255-E261*
24. Poole, D.C. and Gaesser, G.A (1985). Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *Journal of Applied Physiology 58, 1115-1121*
25. Slawinski, J., Demarle, A., Koralsztein, J.P. and Billat,V (2001). Effect of supra-lactate threshold training on the relationship between mechanical stride descriptors aerobic energy cost in trained runners. *Archives of Physiology & Biochemistry 109, 110-116*
26. Tabata, I., Irisawa, K., Kouzaki, M., Nishimura, K., Ogita, F. and Miyachi, M (1997). Metabolic profile of high-intensity intermittent exercises. *Medicine Science Sports and Exercise 229, 390-395*
27. Thomas, C., Perrey, L., Hugon, K.G., Mornet, D. and Mercier, J (2005). Monocarboxylate transporters, blood lactate removal after supramaximal exercise, and fatigue indexes in humans. *Journal of Applied Physiology 98, 804-809*
28. Weltman, A., Seip, R., Snead, D., Weltman, J.Y., Haskvitz, E.M., Evans, W.S., Ve.ldhuis, JD. and Rogol, A.D (1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *International Journal of Sports Medicine 13, 257-263*

Cita Original

Adnene Gharbi, Karim Chamari, Amjad Kallel, Saîd Ahmaidi, Zouhair Tabka and Zbidi Abdelkarim. Lactate Kinetics after Intermittent and Continuous Exercise Training. Journal of Sports Science and Medicine (2008) 7, 279 - 285