

RENDIMIENTO Y RECUPERACIÓN AGUDA EN CORREDORES DE RESISTENCIA

Boullosa, D. A.; Tuimil, J. L.

Facultade de Ciencias do Deporte e a Educación Física. Universidade da Coruña

RESUMEN

Dieciséis corredores de fondo bien entrenados fueron evaluados en dos días diferentes mediante la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) y el tiempo límite a la velocidad aeróbica máxima (Tlim). Se examinó la respuesta de la frecuencia cardíaca y la lactatemia en la recuperación aguda (andando). La frecuencia cardíaca máxima fue diferente entre los dos días de valoración ($p = 0,001$), resultando superior en el UMTT respecto del Tlim. La recuperación de la frecuencia cardíaca en el primer minuto (RFC1) correlacionó con la velocidad aeróbica máxima ($r = 0,611$ y $r = 0,615$, $p = 0,012$; en el UMTT y el Tlim, respectivamente), correlacionando además los dos valores de RFC1 entre sí ($r = 0,824$; $p = 0,000$). La diferencia en la lactatemia entre la finalización y el minuto diez de la recuperación fue estadísticamente significativa sólo después del UMTT ($p = 0,013$). Se concluye que: 1) fue hallada una relación moderada entre la recuperación cardíaca y la velocidad aeróbica máxima en corredores de resistencia; 2) la frecuencia cardíaca máxima obtenida en una prueba incremental en el campo es superior a la alcanzada en una prueba de tipo rectangular; 3) el descenso significativo de la lactatemia a los 10 min sólo se observó después del UMTT, lo que sugiere una influencia del protocolo de carrera en este parámetro.

Palabras clave: frecuencia cardíaca, lactato, recuperación, velocidad aeróbica máxima

ABSTRACT

Sixteen well-trained endurance runners were evaluated in two different days with the Université de Montréal Track Test (UMTT), and the time limit at maximum aerobic speed test (Tlim). Heart rate and lactate drops were examined during the acute recovery (by walking). Maximum heart rate was higher in UMTT compared with Tlim ($p = 0,001$). Heart rate recovery in the first minute after both protocols correlated with maximal aerobic speed ($r = 0,611$ and $r = 0,615$, $p = 0,012$, for UMTT and Tlim, respectively); with a correlation detected between HR recovery drops after both protocols ($r = 0,824$; $p = 0,000$). The difference between lactate levels at first and 10th min of recovery, was significantly different only in UMTT condition ($p = 0,013$). In summary: 1) it was found a moderate relationship between maximum aerobic speed and heart rate recovery in distance runners; 2) maximum heart rate is higher in an incremental test compared with a rectangular test in the field; 3) the significant lactate drop at 10 min of recovery only after UMTT, suggest the running protocol dependence of this parameter.

Key Words: heart rate, lactate, recovery, maximum aerobic speed

Correspondencia:

José Luis Tuimil López

Facultade de Ciencias do Deporte e a Educación Física. Universidade da Coruña

Avda. Ernesto Che Guevara, 121, Pazos-Liáns, Oleiros.

15179 A Coruña

tuimillo@udc.es

Fecha de recepción: 09/10/2009

Fecha de aceptación: 05/02/2010

INTRODUCCIÓN

Según Zintl (1991), la definición de resistencia comprende dos dimensiones complementarias; mientras la definición clásica alude a la capacidad para resistir a la fatiga, es decir, tolerar y mantener una intensidad de trabajo determinada; la otra dimensión alude a la capacidad para recuperarse de la fatiga (Zintl, 1991). Esta aparente dicotomía no es tal si consideramos que, dada cualquier carga de trabajo, el entrenamiento mejora simultáneamente la tolerancia al esfuerzo y el tiempo de trabajo a una intensidad determinada, a la vez que acelera los procesos de recuperación de la homeostasis. Esta relación ha sido constatada con las evidencias que han relacionado el entrenamiento en resistencia con una mejor recuperación en diferentes parámetros fisiológicos tales como: la recuperación cardiaca (Darr et al., 1988), el consumo de oxígeno post-esfuerzo (Børsheim y Bahr, 2003), la eliminación de lactato (Gharbi et al., 2008) y la resíntesis de fosfocreatina (McMahon y Jenkins, 2002), entre otros. En general, se puede decir que la recuperación se mejora por una mejor condición física que potencia la respuesta aeróbica de los sujetos (Tomlin y Wenger, 2001). Por lo tanto, es evidente la influencia simultánea del entrenamiento de resistencia en el rendimiento aeróbico y en la recuperación.

Un parámetro de fácil evaluación en el post-esfuerzo es la recuperación de la frecuencia cardiaca (RFC). El empleo de este parámetro de control de la carga interna ha pasado de asociarse erróneamente al descenso de un número de pulsaciones fijo (e.g. durante el entrenamiento interválico), a considerarse actualmente un buen predictor de la mortalidad asociada a evento cardiaco (Cole et al., 1999). Su relación con el nivel de entrenamiento ha sido constatada en una población adulta físicamente activa (Carnethon et al., 2005). Refiriéndonos a corredores bien entrenados, Bosquet et al. (2007) no encontraron relaciones entre la resistencia aeróbica de carrera, definida como la intensidad respecto de la velocidad pico en tapiz en la que se determinaba el umbral ventilatorio, y la RFC. Por el contrario, Lamberts et al. (2008), han encontrado relaciones entre la mejora en la potencia pico y la RFC ($r = 0,73$; $p=0,0001$) en un test de 40 km en un grupo de ciclistas bien entrenados. Es por esto que se hace necesario profundizar en el estudio de la RFC para observar cómo se ve afectada por los cambios en el nivel de rendimiento en deportistas bien entrenados y más concretamente en los corredores de fondo.

Otro parámetro a considerar en la fase de recuperación aguda es el lactato (La) (Gharbi et al., 2008), aunque dada la gran variedad de diseños y métodos de valoración empleados en los diferentes estudios (Tomlin y Wenger, 2001), aún no está clara su relación con las diferentes adaptaciones al entrenamiento de resistencia (Glaister, 2005). Así, son varios los trabajos que han constatado la relación entre el estado entrenado con el descenso en los niveles de lactato (Donovan y Brooks, 1983; Gharbi

et al., 2008), mientras otros estudios no han encontrado esta relación equiparando la carga entre entrenados y no entrenados (Bassett et al., 1991). Al respecto, parece que el músculo entrenado en reposo no elimina más lactato que el no entrenado (Sumida y Donovan, 2001), siendo más clara la capacidad de eliminación durante la recuperación activa comparado con la pasiva (Taoutaou et al., 1996). Respecto de la cinética del lactato en la recuperación, es interesante señalar que después de una prueba incremental aeróbica máxima, el pico en la lactatemia no suele ocurrir antes de los 4-6 min de la recuperación (Fukuba et al., 1999), aunque se ha sugerido que el nivel de entrenamiento en resistencia favorece una aparición más temprana de este valor (Basset et al., 1991), además de una disminución significativa de los niveles alcanzados (Stallknecht et al., 1998). Sin embargo, aunque se ha estudiado la influencia del nivel de entrenamiento en la lactatemia durante y después del ejercicio (Stallknecht et al., 1998; Thomas et al., 2004), no hemos encontrado ningún trabajo que haya estudiado el descenso en la lactatemia comparando dos cargas o protocolos diferentes con una recuperación similar en corredores bien entrenados.

Por otro lado, la velocidad aeróbica máxima (VAM) es probablemente el parámetro más adecuado para la caracterización de un corredor de resistencia (Billat y Koralsztein, 1996) ya que, además de estar relacionado con el rendimiento en todas las pruebas del programa olímpico (Mercier y Léger, 1986), integra en un mismo concepto el VO₂máx y la economía de carrera (Hill y Rowell, 1996), siendo muy útil para la prescripción individual de las cargas de entrenamiento (Tuimil y Rodríguez, 2003). Otro parámetro válido y complementario de la VAM es el tiempo límite a la VAM (Tlim) (Billat et al., 1994). Previamente, el Tlim ha demostrado estar correlacionado con la capacidad anaeróbica (Blondel et al., 2001) y con el umbral anaeróbico (Billat et al., 1994). Es por esto que, tanto la VAM como el Tlim, son dos parámetros de fácil determinación en el campo (Billat y Koralsztein, 1996) y adecuados para la monitorización del rendimiento en corredores de resistencia.

Por lo tanto, el propósito principal de este estudio fue explorar la RFC y el descenso de los valores de La después de dos pruebas aeróbicas máximas diferentes (triangular vs rectangular), en un grupo de corredores de fondo. Se partió de una hipótesis sobre la relación entre el nivel de adaptación al entrenamiento de resistencia de carrera con los parámetros de recuperación evaluados, reflejado en el rendimiento en las dos pruebas de valoración mencionadas.

MÉTODO

Participantes

16 corredores masculinos de resistencia (6 fondistas y 10 medio-fondistas) de nivel regional hasta elite, se presentaron voluntarios para el estudio. Las caracterís-

ticas de los corredores se muestran en la tabla 1. Todos ellos eran mayores de edad y habían competido y entrenado en carreras de resistencia durante al menos dos temporadas. Se les explicó en detalle los procedimientos en las pruebas en pista en una sesión previa de valoración antropométrica. Todos ellos manifestaron su consentimiento por escrito. Se cumplió, en todo caso, con los criterios referidos en la declaración de Helsinki para experimentación con humanos.

TABLA 1
Características de los participantes

| n = 16 | Media | Desv. Típica | Rango |
|-------------|-------|--------------|---------|
| Edad (años) | 22.44 | 3.2 | 18-27 |
| Talla (cm) | 174 | 5.8 | 163-183 |
| Masa (kg) | 64.7 | 7.7 | 52-78.8 |

Procedimiento

Todas las pruebas se llevaron a cabo inmediatamente al finalizar el periodo de competiciones durante los meses de verano, en una pista de atletismo (400 m) de material sintético. Para evitar la influencia de las condiciones ambientales, especialmente de la radiación solar, las pruebas se llevaron a cabo entre las 18 y las 20 h. La temperatura ambiental osciló entre los 22-26 °C, mientras la humedad relativa del aire se mantuvo entre el 60 y el 80% en todos los días de valoración. La velocidad del viento no superó los 2 m•s⁻¹.

La participación durante el experimento se realizó de forma individual en todos los casos. Previamente a la realización de las pruebas de carrera, los sujetos realizaron un calentamiento de 10 min de carrera continua lenta por el césped a una intensidad correspondiente al 60% de la frecuencia cardiaca máxima (FC_{máx}) estimada (Tanaka et al., 2001). Se empleó un monitor de frecuencia cardiaca (625x, Polar electro, Finlandia), con un muestreo de 5 s, para el registro de la frecuencia cardiaca antes, durante y después de cada protocolo.

Primer día de valoración

Para la determinación de la VAM se utilizó la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal («Université de Montréal Track Test»; UMTT) (Léger y Boucher, 1980), que es un protocolo válido y fiable para la determinación de la VAM en el campo deportivo (Billat y Koralsztejn, 1996). La prueba comenzó a 8 km•h⁻¹ con incrementos de 1 km•h⁻¹ cada 2 min, pero el ritmo fue impuesto en nuestro caso por un ciclista que monitorizaba los incrementos de velocidad con un velocímetro previamente calibrado según las especificaciones del fabricante (SC6501, Shimano,

Taiwán). Se registró el tiempo total en la prueba (Tumtt). Para la determinación más precisa de la VAM, en vista de fijar la velocidad para el Tlim, se le sumó $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a la velocidad del último estadio completado en aquellos corredores que completaron al menos un minuto del estadio siguiente (Léger L., 1999, comunicación personal). Se consideró también la FCmáx registrada durante la prueba.

Segundo día de valoración

El Tlim a la VAM determinada en el UMTT se llevó a cabo entre 48 h y una semana después del primer día de valoración, manteniendo siempre las mismas condiciones experimentales referidas. Esta prueba se inicia cuando el corredor comienza la carrera al ritmo del ciclista, que previamente aceleró hasta alcanzar la VAM. El test finaliza cuando el corredor no es capaz de mantener el ritmo impuesto, registrándose el tiempo final en la prueba (Tlim). En este caso también se registró la FCmáx.

Recuperación aguda después de los protocolos de carrera

Inmediatamente después de finalizar cada prueba, los corredores se dirigían andando a una velocidad libremente elegida hasta el punto de partida. Este modo de recuperación fue seleccionado por ser el más empleado por los atletas durante los entrenamientos. Durante este trayecto se les interceptaba para obtener una muestra de sangre para la determinación del nivel de lactato sanguíneo dentro del primer minuto de recuperación (La1). Para este fin se utilizó un analizador portable que había sido previamente calibrado según las especificaciones del fabricante (Lactate Scout, Senslab, Germany). Se verificó la extenuación con la manifestación verbal de los participantes de una percepción del esfuerzo máxima (RPE>19). La recuperación de la frecuencia cardiaca se determinó calculando la diferencia entre la FCmáx y el descenso bruto de pulsaciones en el primer minuto de recuperación (RFC1). No se permitió durante el periodo de recuperación la ingesta de líquido.

Durante el resto del periodo de recuperación, los atletas deambularon libremente por la pista hasta que se obtenía y analizaba otra muestra de sangre a los 10 min de finalizar la prueba (La10) para determinar la diferencia entre las concentraciones de lactato (ΔLa). Este intervalo fue seleccionado a partir de estudios previos que sugerían un descenso significativo en la lactatemia a los 10 min, comparado con los valores obtenidos al finalizar una prueba incremental aeróbica máxima (Martin et al., 1998; Berthoin et al., 2003), por lo que determinamos que éste era el intervalo de tiempo mínimo para detectar un descenso significativo en la lactatemia en el periodo de recuperación.

Análisis estadístico

La normalidad de cada variable fue constatada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los datos son presentados con la media, desviación típica y rango en los casos en que procede. Se aplicó la prueba t de Student para verificar la igualdad de medias. El análisis correlacional se realizó mediante el coeficiente de correlación r de Pearson. Para el análisis de la varianza entre grupos se aplicó una prueba ANOVA de medidas repetidas (grupo \times momento). El nivel de significación se estableció en 0,05.

RESULTADOS

Los rendimientos en el UMTT y en el Tlim de todos los participantes son presentados en la tabla 2, y de los fondistas y medio-fondistas en las tablas 3 y 4, respectivamente. La media de la VAM resultó ser superior en el grupo de fondistas respecto del de medio-fondistas ($p = 0,005$), mientras que la media del rendimiento en el Tlim fue superior en el grupo de medio-fondistas ($p = 0,011$). No hubo correlación significativa entre la VAM y el Tlim ($r = -0,404$; $p = 0,120$). El Tlumt fue de 1502 ± 144 s. Si comparamos las medias en el Tlim de dos grupos de diferente nivel en el UMTT (punto de corte en la mediana del UMTT: 1560 s), resulta una diferencia estadísticamente significativa (302 vs 393 s, para el grupo de nivel alto y bajo, respectivamente; $p = 0,035$).

TABLA 2
Rendimiento en las pruebas de valoración en pista
en el global de la muestra de corredores de resistencia

| n = 16 | Media | Desv. Típica | Rango |
|---------------------------------------|-------|--------------|---------|
| VAM ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) | 20.4 | 1.2 | 18-22 |
| Tlim (s) | 342 | 88.6 | 188-600 |

TABLA 3
Rendimiento en las pruebas de pista en el grupo de fondistas

| n = 6 | Media | Desv. Típica | Rango |
|---------------------------------------|-------|--------------|---------|
| VAM ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) | 21.3 | 0.4 | 21-22 |
| Tlim (s) | 274.2 | 50.3 | 188-330 |

TABLA 4
Rendimiento en las pruebas de pista en el grupo de medio-fondistas

| n = 10 | Media | Desv. Típica | Rango |
|---------------------------------------|-------|--------------|---------|
| VAM ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) | 19.8 | 1.3 | 18-22 |
| Tlim (s) | 383 | 82.1 | 315-600 |

Los valores relativos a la frecuencia cardiaca se presentan en las tablas 5 y 6. Respecto de los valores de FCmáx alcanzados en el UMTT y en el Tlim, las medias de todos los participantes en ambos protocolos fueron significativamente diferentes ($p = 0,001$). Además, la FCmáx registrada en el Tlim resultó significativamente diferente de la FCmáx teórica calculada según la fórmula de Tanaka et al. (2001), mientras la registrada en el UMTT no lo fue ($p = 0,533$). Respecto de la RFC1, hubo diferencias significativas entre ambos valores después de cada protocolo ($p = 0,016$). Se hallaron también correlaciones significativas entre la VAM y RFC1 en el UMTT ($r = 0,611$; $p = 0,012$), VAM y RFC1 en el Tlim ($r = 0,615$; $p = 0,012$), y entre ambos parámetros entre sí ($r = 0,824$; $p = 0,000$).

TABLA 5
Valores registrados (ppm) de FCmáx, RFC1 en cada prueba y la FCmáx teórica

| n = 16 | Media | Desv. Típica | Rango |
|----------------------|-------|--------------|---------|
| FCmáx UMTT | 190 | 9.7 | 181-212 |
| FCmáx Tlim | 185 | 7.4 | 176-200 |
| FCmáx teórica | 192 | 2.3 | 188-195 |
| RFC1 _{UMTT} | 42 | 13.3 | 14-59 |
| RFC1 _{Tlim} | 37 | 14 | 13-61 |

La evolución del lactato sanguíneo al acabar y a los 10 min de recuperación se presenta en la Figura 1. Los valores de La1 fueron de $11,8 \pm 1,8$ y $11,7 \pm 2$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ en el UMTT y el Tlim, respectivamente. Los valores de La10 fueron de $9,8 \pm 1,4$ y $10,8 \pm 2,6$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, para el UMTT y el Tlim ($p = 0,032$), respectivamente. Fue observada una gran variabilidad inter-sujetos (aclorado, mantenimiento o incremento) que se refleja en el rango de ΔLa para el UMTT (máximo: $-4,4$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; mínimo: $3,5$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) y para el Tlim (máximo: $-4,9$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; mínimo: $3,6$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$). No se encontraron diferencias en ΔLa atendiendo al sector de especialización (medio-fondo vs fondo).

Si establecemos dos grupos con punto de corte en la mediana de La1 en el UMTT ($11,9$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), se establecen unas diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,038$) en los niveles de lactato, en cuanto que los sujetos con mayores niveles de La1 son los que más descenso experimentaron en La10 (-3 vs $-0,9$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$). Por otro lado, si establecemos dos grupos de diferente capacidad de recuperación cardiaca con punto de corte en la mediana de RFC1 en el UMTT (47 ppm), se determinan unas diferencias estadísticamente significativas entre medias en ΔLa , aunque sólo después del Tlim ($2,2$ vs $0,4$ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $p = 0,036$). Así mismo, según este criterio de comparación de grupos de recuperación cardiaca mayor y menor, se establecen también diferencias en el rendimiento en el UMTT ($p = 0,038$).

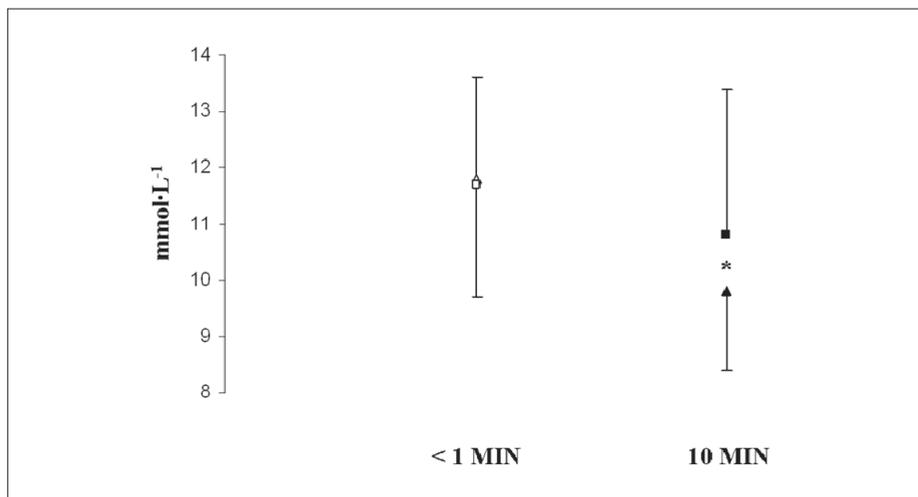


FIGURA 1. Lactemias después de la prueba triangular (triángulo) (UMTT) y de la prueba rectangular (rectángulo) (Tlim). Comparación entre valores en el primer minuto y a los 10 min. de recuperación de cada prueba.

* $p = 0,013$.

DISCUSIÓN

Respuesta de la frecuencia cardiaca

Respecto de la hipótesis principal de nuestro trabajo, se detectó una relación moderada entre RFC1 después de ambos protocolos y la VAM (RFC1 en el UMTT: $r = 0,611$; $p = 0,012$; RFC1 en el Tlim: $r = 0,615$; $p = 0,012$), confirmando la relación entre un parámetro de rendimiento (VAM) y uno de recuperación (RFC). El mayor descenso de pulsaciones después del UMTT respecto del Tlim ($p = 0,016$) podría estar influenciada por la mayor FC_{máx} alcanzada en este protocolo, lo que no afecta a la alta correlación entre ambos valores de la RFC ($r = 0,824$; $p = 0,000$). Estos valores son similares a los reportados en un estudio previo con una muestra más amplia de deportistas entrenados en resistencia valorada en laboratorio (Cruz Llanas et al., 2001). Este dato confirma la influencia del entrenamiento de resistencia en una mayor reactivación vagal en la recuperación (Carter et al., 2003) aunque, dada la ausencia de linealidad en la correspondencia entre la VFC y el nivel de entrenamiento (Goldberger et al., 1996), parece razonable valorar la influencia de factores relativos a la morfo-fisiología del músculo cardiaco, tal y como ha sido planteado por Legaz-Arrese et al. (2007). Se presenta así un parámetro muy interesante para monitorizar, a lo largo del año y a través de las temporadas, las adaptaciones de los deportistas en la recuperación de una prueba validada, sencilla y de fácil apli-

cación como el UMTT, que ha sido suficientemente contrastada en corredores de fondo de diferentes niveles y especialidades (Billat y Koralsztein, 1996).

Por otro lado, un aspecto interesante y que ha sido discutido recientemente en la literatura (Robergs y Landwehr, 2002; Marins y Delgado, 2007) es la determinación de la FC_{máx} verdadera. En nuestro estudio, la FC_{máx} determinada en el UMTT ha resultado ser superior a la registrada en el Tlim ($p=0,001$). Además, esta FC_{máx} ha resultado ser similar a la calculada por la ecuación propuesta por Tanaka et al. (2001). Dada la mayor duración del UMTT, es probable que un mayor incremento de la temperatura corporal haya influido en esta diferencia por suponer un mayor estrés cardíaco (Montain y Coyle, 1992). Se recomienda, según estos resultados, la elección de un protocolo triangular para determinar la FC_{máx} verdadera en el campo. En este sentido Semim et al. (2008) sugieren obtener la FC_{máx} durante el entrenamiento o la competición antes que en laboratorio. Valorando estas evidencias en conjunto, en futuros estudios sugerimos comparar la FC_{máx} obtenida con el UMTT con la obtenida en la competición, para verificar si la FC_{máx} determinada en el UMTT resulta verdaderamente un valor máximo. Así mismo, se confirma la sugerencia de Marins y Delgado (2007) sobre la idoneidad de la fórmula de Tanaka et al. (2001) para estimar la FC_{máx} en poblaciones de corredores, aunque no debe olvidarse que no dejan de tener un gran error predictivo (Robergs & Landwehr, 2002).

Descenso de la lactatemia en la recuperación (ΔLa)

En lo referente a la cinética de lactato, dada la probable diferencia de la carga fisiológica de ambos protocolos reflejada en la diferente FC_{máx} determinada en cada prueba, es interesante comprobar la igualdad de medias en La1 ($p>0,05$), lo que indicaría una activación metabólica similar en el momento de la extenuación. Este similar nivel en la lactatemia hace más fácil la comparación de ΔLa entre ambos protocolos. Así, sólo resultó significativamente diferente La10 después del UMTT ($p=0,013$) y no del Tlim, aunque es interesante reseñar la gran variabilidad de las respuestas individuales, pudiendo señalar que dos sujetos incrementaban los valores de La10 respecto de La1 después de ambos protocolos, en comparación con el resto de la muestra que presentaban una disminución en la lactatemia. La ausencia de correlaciones o diferencias relativas al nivel de entrenamiento o rendimiento con la lactatemia podrían relacionarse con la homogeneidad de la muestra. Al respecto, el único estudio que encontró una relación entre la VAM y el descenso del lactato, se llevó a cabo con estudiantes de educación física (Gharbi et al., 2008), mientras que la alta especialización de nuestra muestra (con un valor medio estimado de $70 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) sugiere que, a un nivel elevado de rendimiento, la adaptación al entrenamiento no se relaciona con un descenso en la lactatemia a los 10 min de recu-

peración, aunque estaría aún por determinar qué factores estarían más relacionados con este descenso (capilaridad, transportadores monocarboxílicos, tasa gluconeogénica, etc.).

Una hipótesis sugerente sobre la etiología de este mayor descenso en la lactatemia después del UMTT, podría referirse a una mayor activación del metabolismo aeróbico, en cuanto que se ha sugerido una cinética de oxígeno diferente entre ambos protocolos (Harling et al., 2003), dado que la mayor duración y el perfil triangular del UMTT favorecen un tiempo mayor de carrera a intensidades submáximas. Esta hipótesis pondría de manifiesto la importancia de un buen calentamiento, con el fin de activar el metabolismo aeróbico, en las situaciones deportivas en las que es interesante un mayor descenso en la lactatemia y no sea posible realizar una recuperación activa (Martin et al., 1998). Quedará para futuros estudios esclarecer que factores del metabolismo aeróbico están vinculados a esta protocolo-dependencia del descenso de la lactatemia, valorando la cinética del lactato y su aclaramiento a partir de la determinación de varias muestras durante la recuperación.

Diferencias en el rendimiento valorando la especialidad

Otra cuestión interesante que podemos extraer de este estudio se refiere al diferente rendimiento en las pruebas de carrera entre grupos. Así, la VAM superior del grupo de fondistas ($p=0,005$), contrasta con el mejor Tlim de los medio-fondistas ($p=0,011$). Además, si diferenciamos entre corredores con mejor o peor rendimiento en el UMTT de la muestra global, los corredores con un tiempo menor en el UMTT resultaron tener un Tlim superior, aunque no se confirma una correlación inversa entre estos parámetros. Estos datos sugieren que el mayor nivel del grupo de fondistas en este estudio se ve claramente reflejado por una VAM superior y, por lo tanto, un $VO_{2\text{máx}}$ también superior al de medio-fondistas, que era un grupo de un nivel más heterogéneo si atendemos a sus marcas que oscilaban en aquel momento entre los 3 min. 42 s y más de 4 min en 1500 m. El mayor rendimiento de los medio-fondistas en el Tlim puede ser debido a una lógica mayor capacidad anaeróbica, que se ha sugerido como uno de los factores limitantes del rendimiento en esta prueba (Blondel et al., 2001; Tuimil y Rodríguez, 2001).

Por último, el grupo con una mayor lactatemia al finalizar el UMTT es el que muestra una diferencia significativa ($p=0,038$) en ΔLa después de este mismo protocolo respecto del grupo con menor lactatemia final. Además, si establecemos dos grupos en base al nivel de RFC1, los que reducen la FC en más de 47 ppm, son los que reducen el valor de La_{10} de forma significativa, aunque sólo después del Tlim (2,2 vs 0,4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $p=0,036$), demostrando también estos mismos sujetos un mayor rendimiento en el UMTT ($p=0,038$). Estos resultados confirmarían la relación

entre el potencial oxidativo y el descenso de la lactatemia en un grupo de corredores bien entrenados.

CONCLUSIONES

Concluimos que el nivel de adaptación de los corredores de resistencia se ve reflejado en el periodo de recuperación a partir de la relación observada entre la VAM y la RFC en una muestra de fondistas y medio-fondistas. La diferente carga fisiológica del protocolo triangular respecto del rectangular se ve reflejada por una mayor FCmáx en el UMTT y un descenso significativo en la lactatemia a los 10 min de finalización.

Desde un punto de vista práctico, proponemos utilizar la RFC1 después de esfuerzos aeróbicos incrementales máximos para monitorizar el estado de entrenamiento de los corredores de fondo. Otra aplicación práctica se refiere a la idoneidad de realizar calentamientos largos de baja intensidad como estrategia para favorecer una mayor activación del metabolismo aeróbico y así favorecer un mayor descenso de la lactatemia durante la recuperación. Por último, para la determinación de la FCmáx real, se recomienda el empleo de protocolos triangulares aeróbicos máximos como puede ser la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal.

REFERENCIAS

- Basset, D.R.; Merrill, P.W.; Nagle, F.J.; Agre, J.C. & Sampedro, R. (1991). Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 70, 1816-1820.
- Berthoin, S.; Allender, H.; Baquet, G.; Dupont, G.; Matran, R.; Pelayo, P. & Robin, H. (2003). Plasma lactate and plasma volume recovery in adults and children following high-intensity exercises. *Acta Paediatr.* 92, 283-290.
- Billat, L.V. & Koralsztejn, J.P. (1996). Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 22(2), 90-108.
- Billat, V.; Renoux, J.C.; Pinoteau, J.; Petit, B. & Koralsztejn, J.P. (1994). Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in sub-elite runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 254-257.
- Blondel, N.; Berthoin, S.; Billat, V. & Lensel, G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of VO₂max and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *Int. J. Sports Med.* 22, 27-33.
- Bosquet, L.; Gamelin, F.-X. & Berthoin, S. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *Eur. J. Appl. Physiol.* 100, 363-369.
- Børsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.* 33(14), 1037-60.
- Brown, P.I.; Hughes, M.G. & Tong, R.J. (2007). Relationship between VO₂máx and repeated sprint ability using non-motorised treadmill ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 47(2), 186-90.

- Carter, J.B.; Banister, E.W. & Plaber, A.P. (2003). Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Med.* 33, 33-46.
- Cole, C.R.; Blackstone, E.H.; Pashkow, F.J.; Snader, C.E. & Lauer, M.S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N. Engl. J. Med.* 341(18), 1351-7.
- Cruz Llanas, E.; Benito Peinado, P.J. y Calderón Montero, F.J. (2001). La recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de fondo: triatletas, atletas, ciclistas y nadadores. *Selección* 10(2), 67-72.
- Darr, K.C.; Bassett, D.R.; Morgan, B.J. & Thomas, D.P. (1988). Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Am. J. Physiol.* 254(2 Pt 2), H340-3.
- Donovan, C.M. & Pagliassotti, M.J. (1989). Endurance training enhances lactate clearance during hyperlactatemia. *Am. J. Physiol.* 257(5 Pt 1), E782-9.
- Fukuba, Y.; Walsh, M.L.; Morton, R.H.; Cameron, B.J.; Kenny, C.T.C. & Banister, E.W. (1999). Effect of endurance training on blood lactate clearance after maximal exercise. *J. Sports Sci.* 17, 239-248.
- Gharbi, A.; Chamari, K.; Kallel, A.; Ahmaidi, S.; Tabka, Z. & Abdelkarim, Z. (2008). Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *J. Sports Sci. Med.* 7: 279-285.
- Glaister, M. (2005). Multiple Sprint Work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 35(9): 757-77.
- Goldberger, J.J.; Kim, Y.H.; Ahmed, M.W. & Kadish, A.H. (1996). Effect of graded increases in parasympathetic tone on heart rate variability. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 7, 594-602.
- Harling, S.A.; Tong, R. & Mickleborough, T.D. (2003). The oxygen uptake response running to exhaustion at peak treadmill speed. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35, 663-668.
- Hill, D.W. & Rowell, A. (1996). Running velocity at VO₂max. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28 (1), 114-119.
- Lacour, J.R.; Padilla-Magunacelaya, S.; Chatard, J.C.; Arsac, L. & Bartheélémy, J.C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62,77-82.
- Legaz-Arrese, A.; Gonzalez-Carretero, M. & Lacambra-Blasco, I. (2007). Adaptation of left ventricular morphology to long-term training in sprint- and endurance-trained elite athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96, 740-746, 2007.
- Léger, L. & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: Université de Montréal track test. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 5, 77-84.
- Marins, J.C. y Delgado Fernández, M. (2007). Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardíaca máxima en carrera para jóvenes deportistas. *Archivos de medicina del deporte XXIV*(118), 112-120.
- Martin, N.A.; Zoeller, R.F.; Robertson, R.J. & Lephart, S.M. (1998). The comparative effect of sports massage, active recovery, and rest in promoting blood lactate clearance after supramaximal exercise. *J. Athletic Training* 33, 30-35.
- McMahon, S. & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med.* 32(12), 761-784.

- Mercier, D. & Léger, L. (1986). Prédiction de la performance en course à pied à partir de la puissance aérobie maximale. *STAPS* 7(14), 14-28.
- Montain, S.J. & Coyle, E.F. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73, 1340-1350.
- Robergs, R.A. & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the «Hrmax = 220-age» equation. *JEPonline* 5(2), 1-10.
- Semin, K.; Stahlnecker IV, A.C.; Heelan, K.; Brown, G.A.; Shaw, B.S. & Shaw, I. (2008). Discrepancy between training, competition and laboratory measures of maximum heart rate in NCAA Division 2 distance runners. *J. Sci. Med. Sports* 7(4), 455-460
- Stallknecht, B.; Vissing, J.; Galbo, H. (1998). Lactate production and clearance in exercise. Effects of training. A mini-review. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 8(3): 127-31.
- Tanaka, H.; Monahan, K.G. & Seals, D.S. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Col. Cardiol.* 37, 153-6.
- Taoutaou, Z.; Granier, P.; Mercier, B.; Mercier, J.; Ahmaidi, S. & Prefaut, C. (1996). Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 73(5), 465-70.
- Thomas, C.; Sirvent, P.; Perrey, S.; Raynaud, E. & Mercier, J. (2004). Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supramaximal exercise and fatigue indexes in humans. *J. Appl. Physiol.* 97, 2132-2138.
- Tomlin, D.L. & Wenger, H.A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 31(1), 1-11.
- Tuimil, J.L. y Rodríguez, F.A. (2001). Effect of two types of interval training on maximal aerobic speed and on time to exhaustion. En: Mester J., King G., Strüder H., Tsolakidis E., Osterburg A. (eds.), *Book of Abstracts of the 6th Annual Congress of the European College of Sport Science & 15th Congress of the German Society of Sport Science*, p. 660. Cologne: ECSS, Sport und Buch Strauss.
- Tuimil, J.L. y Rodríguez, F.A. (2003). La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM). Concepto, evaluación y entrenamiento. *R.E.D.* XVII(1), 31-35.
- Zintl, F. (1991). *Entrenamiento de la resistencia*. Barcelona: Martínez Roca.

AGRADECIMIENTOS

Queremos reconocer la generosidad de los atletas al participar voluntariamente en este estudio. Así mismo, queremos hacer extensible este reconocimiento a sus entrenadores. Nuestro agradecimiento a Biolaster S.L. por su colaboración.

