

Monograph

Relación Entre el Estado de Entrenamiento y la Máxima Tasa de Oxidación de Grasas

Adriano E Lima-Silva^{1,2}, Romulo C M Bertuzzi², Flavio O Pires², Joao F L Gagliardi², Ronaldo V Barros², John Hammond³ y María A. P. D. M Kiss²

¹Sports Science Research Group, Federal University of Alagoas, Brazil.

²Department of Sport, School of Physical Education and Sport, São Paulo University, Brazil.

³Department of Sport, Coaching and Exercise Science, University of Lincoln, UK.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo comparar los parámetros de la máxima tasa de oxidación de grasas entre corredores de rendimiento moderado y bajo. Dieciocho corredores llevaron a cabo una carrera de 10000 m en una pista y un test incremental en una cinta ergométrica a fin de estimar la máxima tasa de oxidación de grasas ($Fat_{m\acute{a}x}$) en base a mediciones de gases. Luego a los participantes se los dividió en un grupo de rendimiento bajo y moderado utilizando dos criterios diferentes: El tiempo de los 10000 m y los valores del $VO_2m\acute{a}x$. Cuando se dividió a los grupos utilizando el tiempo de los 10000 m, no hubo diferencias significativas en la $Fat_{m\acute{a}x}$ (0.41 ± 0.16 y 0.27 ± 0.12 g.min⁻¹, $p = 0.07$) ni en la intensidad del ejercicio que generó la $Fat_{m\acute{a}x}$ (59.9 ± 16.5 y 68.7 ± 10.3 % $VO_2m\acute{a}x$, $p = 0.23$) entre los grupos de rendimiento moderado y bajo, respectivamente ($p > 0.05$). Cuando se dividió a los grupos utilizando los valores del $VO_2m\acute{a}x$, la $Fat_{m\acute{a}x}$ fue significativamente más baja en el grupo de $VO_2m\acute{a}x$ bajo que en el grupo de $VO_2m\acute{a}x$ elevado (0.29 ± 0.10 y 0.47 ± 0.17 g.min⁻¹, respectivamente, $p < 0.05$) pero la intensidad que generó la $Fat_{m\acute{a}x}$ no difirió entre los grupos (64.4 ± 14.9 y 61.6 ± 15.4 % $VO_2m\acute{a}x$). La $Fat_{m\acute{a}x}$ o el % de $VO_2m\acute{a}x$ que generó la $Fat_{m\acute{a}x}$ no estuvieron asociados con el tiempo de los 10000 m. La única variable asociada con el rendimiento de la carrera de los 10000 m fue el % de $VO_2m\acute{a}x$ durante la carrera ($p < 0.01$). En conclusión, los criterios utilizados para la división de los grupos según el estado de entrenamiento podría influenciar la identificación de diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$ o en la intensidad que genera la $Fat_{m\acute{a}x}$.

Palabras Clave: oxidación de grasas, rendimiento de carrera, calorimetría indirecta

INTRODUCCION

Las grasas y los carbohidratos (CHO) son los principales sustratos para la producción de la energía durante el ejercicio. Está bien determinado que la oxidación absoluta de los carbohidratos se incrementa de manera lineal cuando aumenta la intensidad del ejercicio, mientras que la oxidación de grasas se incrementa de manera progresiva desde el reposo hasta aproximadamente el 60% del consumo máximo de oxígeno ($VO_2m\acute{a}x$) y luego disminuye gradualmente hasta que se alcanza el $VO_2m\acute{a}x$ (Achten y Jeukendrup, 2004; van Loon et al., 2001; Venables et al., 2005). Achten et al. (2002) analizaron la oxidación de grasas durante ejercicios en un amplio rango de intensidades y hallaron un nivel máximo de tasa de oxidación de grasas ($Fat_{m\acute{a}x}$) se alcanzaba a una intensidad aproximada del 63% del $VO_2m\acute{a}x$, sugiriendo la existencia de una intensidad óptima para la oxidación de grasas.

El entrenamiento de la resistencia provoca diversas adaptaciones metabólicas en los músculos que se ejercitan en relación con la capacidad para oxidar grasas durante el ejercicio (Friedlander et al., 2007). Sin embargo, aún no se ha terminado de establecer la magnitud en la cual el estado de entrenamiento aeróbico podría influir en la $Fat_{m\acute{a}x}$. Por ejemplo, Nordby et al. (2006) hallaron que los sujetos entrenados tenían una mayor $Fat_{m\acute{a}x}$ y que se alcanzaba a una intensidad mayor que en los sujetos no entrenados, mientras que Stisen et al. (2006) no hallaron ninguna diferencia entre las mujeres entrenadas y no entrenadas al analizar este mismo parámetro.

Estos resultados contradictorios podrían explicarse mediante los criterios utilizados para la determinación del estado de entrenamiento aeróbico. En estos estudios (Nordby et al., 2006; Stisen et al., 2006), se compararon sujetos con valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ elevados y bajos, suponiendo que los valores más elevados de $VO_{2m\acute{a}x}$ representaban a los sujetos más entrenados. No obstante, si bien el $VO_{2m\acute{a}x}$ se utiliza frecuentemente como parámetro fisiológico para discriminar la aptitud aeróbica (Costill et al., 1973; Wyndham et al., 1969), existen estudios que han indicado que este parámetro puede tener una limitada capacidad para predecir el rendimiento de resistencia (Morgan et al., 1989; Noakes et al., 1990). Este limitado poder predictivo podría deberse a una compleja interacción entre otros factores fisiológicos, más allá del $VO_{2m\acute{a}x}$ y el rendimiento de resistencia (Weston et al. 1999). Por lo tanto, es necesario que se investigue más la relación entre la $Fat_{m\acute{a}x}$ y el rendimiento.

Es probable que los criterios para la determinación del estado de entrenamiento aeróbico puedan influenciar la magnitud de las diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$. Por esta razón, se ha planteado la hipótesis de que los parámetros de $Fat_{m\acute{a}x}$ deberían ser mayores para los mejores corredores y que las diferencias más marcadas en los parámetros de la $Fat_{m\acute{a}x}$ dependen de los criterios utilizados para determinar el estado de entrenamiento. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio ha sido analizar el impacto del estado de entrenamiento sobre la $Fat_{m\acute{a}x}$ y la intensidad del ejercicio que genera la $Fat_{m\acute{a}x}$, empleando el rendimiento como criterio de diferencia comprensivo para categorizar a los sujetos.

MÉTODOS

Participantes

Dieciocho atletas formaron parte de este estudio, que fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional para la Utilización de Sujetos Humanos. Cada voluntario dio su consentimiento por escrito después de que se hubieran explicado los procedimientos experimentales, los posibles riesgos y beneficios. Todos los participantes eran competidores amateur en carreras regionales o nacionales de 10000 m en competencias de pista y campo, con antecedentes de entrenamiento de entre 3 y 10 años. Los sujetos fueron incluidos sólo si habían realizado al menos carreras de 10 km en los dos años previos al estudio y habían entrenado de manera continua durante los últimos tres años. Las características de los participantes se presentan en la Tabla 1.

Edad (años)	28.0 (4.9)
Altura (m.)	1.71 (0.07)
Peso corporal (kg.)	65.7 (9.9)
$VO_{2m\acute{a}x}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	62.4 (6.9)
Cantidad de carreras de 10 km. – últimos dos años	12.0 (1.0)

Tabla 1. Características físicas y fisiológicas de los participantes. Los datos son medias (\pm DE). $VO_{2m\acute{a}x}$: consumo máximo de oxígeno.

Test Incremental

En el primer encuentro, se midieron las variables antropométricas, seguidas de un test incremental en cinta ergométrica para la estimación individual de las tasas de oxidación de grasas en un rango de velocidades. El test comenzó a una velocidad de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y se incrementó en $1.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a intervalos de 3 min hasta llegar al agotamiento (Heck et al., 1985). Según Achten et al. (2002), los incrementos de 3 min brindan resultados de $Fat_{m\acute{a}x}$ similares cuando se los compara con un protocolo continuo prolongado. Por lo tanto, este protocolo con una etapa de duración más breve (3 min) se escogió por razones especiales. Los gases respiratorios se analizaron y registraron de manera continua durante el test utilizando un

sistema integrado de calorimetría indirecta (K4b2, Cosmed, Italia) calibrado con anterioridad a cada test según las especificaciones del fabricante. El $VO_{2\text{máx}}$ se calculó como el valor promedio más elevado de VO_2 obtenido durante los últimos 30 s del test.

Determinación de la Tasa de Oxidación de Grasas

Los medios del VO_2 y el VCO_2 se calcularon durante los últimos 45 s para cada etapa del test incremental. La tasa de oxidación de grasa se calculó utilizando la siguiente ecuación estequiométrica (Frayn, 1983), suponiendo que la tasa de excreción urinaria de nitrógeno fue insignificante:

$$\text{Oxidación de Grasas} = 1.67 \text{ VO}_2 - 1.67 \text{ VCO}_2$$

Donde el VO_2 y el VCO_2 se reportan en $L \cdot \text{min}^{-1}$ y la tasa de oxidación en $g \cdot \text{min}^{-1}$.

La tasa de oxidación de grasas se determinó en función de la intensidad del ejercicio, expresada como porcentaje del $VO_{2\text{máx}}$. Las siguientes variables se identificaron en curvas individuales de oxidación de grasas: la $Fat_{\text{máx}}$ (tasa más elevada de oxidación de grasas expresada en $g \cdot \text{min}^{-1}$); el % $VO_{2\text{máx}}$ que generó la $Fat_{\text{máx}}$ (% $VO_{2\text{máx}}$ en que se observó la tasa más elevada de oxidación de grasas expresada); y el VO_2 y el índice de intercambio respiratorio (RER) a la $Fat_{\text{máx}}$. La intensidad de la $Fat_{\text{máx}}$ también se expresó como velocidad ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) y porcentaje de frecuencia cardiaca máxima (%HR $_{\text{máx}}$).

Rendimiento en la Carrera de los 10000 m

Aproximadamente 14 días después del test incremental, todos los sujetos realizaron una carrera de 10000 m en una pista de 400 m. A los sujetos se les ordenó que completaran la carrera tan rápido como les fuera posible, como si lo hicieran en un evento competitivo. Se estimuló a los sujetos verbalmente para que realizaran la prueba en el menos tiempo posible. Se registró el tiempo de los 400 m y se calcularon la velocidad promedio y el porcentaje de $VO_{2\text{máx}}$ (% $VO_{2\text{máx}}$) utilizados durante la carrera.

Determinación de los Grupos

El análisis de toda la muestra (datos recopilados) mostró un tiempo promedio de 37.8 min para cubrir los 10000 m. A los participantes se los dividió en dos grupos según su tiempo en los 10000 m. Los tiempos superiores a 37.8 min se clasificaron como de rendimiento bajo y los tiempos inferiores a 37.8 min como de rendimiento moderado. Se escogió el término "rendimiento moderado" en lugar de "alto rendimiento" debido a que estudios previos han demostrado que los corredores de elite pueden correr 10000 m en un rango de 28 a 33 min. (Coetzer et al., 1993; Weston et al., 1999). Además, los participantes tenían una experiencia similar en carreras de 10 km antes del estudio. No hubo diferencias entre los grupos de rendimiento moderado y bajo (12 ± 1 vs. 11 ± 1) respecto de la cantidad de carreras de 10 km realizadas en los últimos dos años previos al estudio.

El promedio del $VO_{2\text{máx}}$ para todo el grupo (datos recopilados) fue de $62.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. A los sujetos también se los dividió en un grupo con $VO_{2\text{máx}}$ inferior (grupo de $VO_{2\text{máx}}$ bajo) y superior a $62.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (grupo de $VO_{2\text{máx}}$ elevado). La utilización de los valores promedio de $VO_{2\text{máx}}$ como criterio para la asignación de grupos ha sido descrita previamente (Achten y Jeukendrup, 2003).

Análisis Estadísticos

Los valores están expresados como medias y desviaciones estándar. Se utilizó una prueba t para datos no apareados a fin de comparar las variables entre los grupos de rendimiento bajo y moderado o entre los grupos de $VO_{2\text{máx}}$ elevado y bajo. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar las posibles asociaciones entre el rendimiento de los 10000 m y los parámetros de oxidación de sustratos. Se adoptó un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$) en todos los análisis.

RESULTADOS

Grupo Completo

El promedio de la $Fat_{\text{máx}}$ fue de $0.36 \pm 0.15 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ y se observó en una intensidad de ejercicio de $9.7 \pm 2.3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, correspondiente al 63.3 ± 14.7 % del $VO_{2\text{máx}}$ o al 71.1 ± 12.1 % de la HR $_{\text{máx}}$. La carrera de 10000 m se completó con una

velocidad promedio de $16.0 \pm 1.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, correspondiente al $94.5 \pm 5.1 \%$ del $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$.

Diferencias entre los Grupos de Rendimiento Bajo y Moderado

El tiempo para completar los 10000 m fue significativamente diferente ($p < 0.0001$) entre los grupos, siendo de 41.3 ± 2.2 min para el grupo de rendimiento bajo ($n = 7$) y de 35.5 ± 1.7 min para el grupo de rendimiento moderado ($n = 11$) (Tabla 2). El $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ no difirió entre los grupos de rendimiento bajo y moderado (Tabla 2). No hubo diferencias en la edad, el peso corporal, la altura o la $\text{HRm}\acute{\text{a}}\text{x}$ entre los grupos. No se observaron diferencias en los valores de $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ entre los grupos de rendimiento bajo y moderado, aunque este parámetro tuvo tendencia hacia valores más elevados ($p = 0.06$) en el grupo de rendimiento moderado (Tabla 2). El VO_2 a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ no fue significativamente diferente entre los grupos, pero el RER a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ fue más elevado en el grupo de rendimiento moderado que en el grupo de rendimiento bajo. La intensidad que generó la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ no difirió entre los grupos y se ubicó alrededor del 59.9 ± 16.5 y $68.7 \pm 10.3 \%$ del $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en los grupos de rendimiento moderado y bajo, respectivamente (Tabla 2). El grupo de rendimiento moderado cubrió los 10000 m con un $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ más elevado ($p < 0.01$) que el grupo de rendimiento bajo (Tabla 2).

	Rendimiento bajo (n = 7)	Rendimiento Moderado (n = 11)
$\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	59.4 (5.9)	64.3 (7.1)
Tiempo para cubrir los 10000 m (min)	41.3 (2.2)	35.5 (1.7) *
Velocidad promedio durante los 10000 m ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	14.5 (0.7)	16.9 (0.8) *
$\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en los 10000 m.	89.9 (4.6)	97.4 (2.8) *
$\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	0.27 (0.12)	0.41 (0.16)
$\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	38.2 ± 9.4	41.0 (8.9)
RER en la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	0.89 (0.05)	0.94 (0.03) *
$\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	68.7 (10.3)	59.9 (16.5)
Velocidad en la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	10.5 (1.9)	9.2 (2.4)

Tabla 2. Parámetros fisiológicos, parámetros del metabolismo de las grasas y rendimiento en la carrera de 10000 m en los grupos de rendimiento bajo y moderado. Los datos son medias (\pm DE). $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en los 10000 m: porcentaje de consumo máximo de oxígeno durante una carrera de 10000 m; $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: máxima tasa de oxidación de grasas; VO_2 a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: consumo de oxígeno en la intensidad correspondiente a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$; RER a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: índice de intercambio respiratorio a la intensidad correspondiente a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$; $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: porcentaje de consumo máximo de oxígeno que generó la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$; velocidad a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: velocidad de carrera que generó la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$. *Diferencia significativa entre los grupos ($p < 0.01$).

No se observó una correlación entre la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$, el $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ o la velocidad generada a partir de las mediciones de $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ y los tiempos en los 10000 m (Tabla 3). Sin embargo, la fracción de $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ utilizada durante la carrera estuvo asociada significativamente con el tiempo de los 10000 m ($p < 0.01$).

	Tiempo para cubrir los 10000 m
$\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en los 10000 m	-0.74 **
$\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	-0.23
$\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	0.42
Velocidad a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.33

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los parámetros fisiológicos o del metabolismo de las grasas y rendimiento en la carrera de 10000 m. $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ en los 10000 m: porcentaje de consumo máximo de oxígeno durante la carrera de 10000 m; $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: máxima tasa de oxidación de grasas; $\% \text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: porcentaje de consumo máximo de oxígeno que generó la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$; velocidad a la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$: velocidad de carrera que generó la $\text{Fat}_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$. ** $p < 0.01$.

Diferencias entre los Grupos de $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ Bajo y Elevado

El $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ fue de $58.6 \pm 5.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en el grupo de $\text{VO}_2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}$ bajo ($n = 11$) y de $68.4 \pm 4.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en el grupo de

VO₂máx elevado (n = 7) (p < 0.05). No se observaron diferencias en la edad, el peso corporal, la altura o la HRmáx entre los grupos. La Fat_{máx} fue significativamente más baja en el grupo de VO₂máx bajo que en el grupo de VO₂máx elevado (Tabla 4; p < 0.05). Sin embargo, el VO₂ y el RER en la Fat_{máx} no fueron significativamente diferentes entre los grupos. La intensidad que generó la Fat_{máx} no difirió entre los grupos y se ubicó en alrededor de 64.4 ± 14.9 y 61.6 ± 15.4 % VO₂máx en los grupos de VO₂máx bajo y elevado, respectivamente (p > 0.05). Tampoco hubo diferencias en el rendimiento de carrera de 10000 m entre los grupos [VO₂máx bajo: 38.7 ± 3.5 min, VO₂máx elevado: 36.4 ± 3.1 min, p > 0.05].

DISCUSION

El principal hallazgo del presente estudio fue la ausencia de diferencias en la Fat_{máx} entre los grupos de rendimiento moderado y bajo, aunque la Fat_{máx} tendió a ser más elevada en el grupo de rendimiento moderado. No obstante, cuando el VO₂máx se utilizó como criterio para la división de los sujetos en grupos, los valores de Fat_{máx} fueron significativamente más elevados en el grupo de VO₂máx elevado. Otro hallazgo importante fue la falta de asociación significativa entre los parámetros de oxidación de grasas y el rendimiento de la carrera de 10000 m.

La Fat_{máx} promedio obtenida para ambos grupos (0.36 g·min⁻¹) fue apenas más baja que la reportada en estudios previos (Achten et al., 2002; 2003; González-Haro et al., 2007). Estos estudios emplearon un protocolo en cicloergómetro, mientras que en el presente estudio se empleó un protocolo incremental en una cinta ergométrica. Para nuestro conocimiento, sólo un estudio comparó la Fat_{máx} durante el ejercicio en la cinta ergométrica con el ejercicio en un cicloergómetro (Achten et al., 2003). La tasa de oxidación de grasas fue significativamente más elevada durante el ejercicio en la cinta ergométrica en comparación con el ejercicio de pedaleo en un amplio rango de intensidades. Desafortunadamente, los sujetos del estudio de Achten et al. (2003) realizaron una caminata cuesta arriba en lugar de la carrera en cinta ergométrica, lo cual podría excluir las comparaciones con los resultados del presente estudio. Sin embargo, podría especularse que el gasto de energía es mayor durante la carrera en comparación con la caminata o el pedaleo, dando como resultado una mayor contribución de oxidación de carbohidratos y una oxidación de grasas más baja.

	VO ₂ máx bajo (n = 11)	VO ₂ máx elevado (n = 7)
VO₂máx (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	58.6 (5.4)	68.4 (4.5) *
Tiempo para cubrir los 10000 m (min)	38.7 (3.5)	36.4 (3.1)
Velocidad promedio durante los 10000 m (km·h⁻¹)	15.6 (1.4)	16.6 (1.3)
% VO₂máx en los 10000 m	93.7 (6.0)	95.9 (3.3)
Fat_{máx} (g·min⁻¹)	0.29 (0.10)	0.47 (0.17) *
VO₂ en la Fat_{máx}	37.7 (8.8)	41.9 (9.5)
RER en la Fat_{máx}	0.93 (0.03)	0.89 (0.07)
% VO₂máx en la Fat_{máx}	64.4 (14.9)	61.6 (15.4)
Velocidad en la Fat_{máx} (km·h⁻¹)	9.6 (2.1)	9.8 (2.6)

Tabla 4. Parámetros fisiológicos, parámetros de metabolismo de las grasas y rendimiento de la carrera de 10000 m. en los grupos de VO₂máx bajo y elevado. Los datos son medias (± DE). %VO₂máx en los 10000 m: porcentaje de consumo máximo de oxígeno durante una carrera de 10000 m; Fat_{máx}: máxima tasa de oxidación de grasas; VO₂ a la Fat_{máx}: consumo de oxígeno en la intensidad correspondiente a la Fat_{máx}; RER a la Fat_{máx}: índice de intercambio respiratorio en la intensidad correspondiente a la Fat_{máx}; % VO₂máx a la Fat_{máx}: porcentaje de consumo máximo de oxígeno que generó la Fat_{máx}; velocidad a la Fat_{máx}: velocidad de carrera que generó la Fat_{máx}. *Diferencia significativa entre los grupos (p < 0,05).

En el presente estudio los valores de RER a la Fat_{máx} excedieron las 0.85 unidades en todos los sujetos, sugiriendo que la oxidación de carbohidratos fue la principal fuente de energía a la intensidad de la Fat_{máx}. Al analizarlos por grupos, los valores de RER mostraron una mayor oxidación de grasas a la intensidad de la Fat_{máx} en el grupo de rendimiento moderado.

Se ha observado una mayor oxidación de grasas durante el ejercicio sub-máximo en individuos entrenados (Nordby et al., 2006; Stisen et al., 2006). Sin embargo, los efectos del entrenamiento sobre la Fat_{máx} y la intensidad que genera la Fat_{máx} no

es evidente (Achten y Jeukendrup, 2003; Nordby et al., 2006; Stisen et al., 2006). Por ejemplo, Nordby et al. (2006) hallaron que la $Fat_{m\acute{a}x}$ se producía con cargas relativas de trabajo más elevadas en sujetos entrenados en comparación con sujetos no entrenados, mientras que Stisen et al. (2006) no observaron diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$ o la intensidad que genera la $Fat_{m\acute{a}x}$ entre mujeres entrenadas y no entrenadas. Achten y Jeukendrup (2003) tampoco hallaron diferencias en la intensidad de la $Fat_{m\acute{a}x}$ entre individuos con $VO_{2m\acute{a}x}$ elevado o bajo. En el presente estudio, se halló una mayor $Fat_{m\acute{a}x}$ en el grupo de $VO_{2m\acute{a}x}$ elevado cuando se utilizó el $VO_{2m\acute{a}x}$ para determinar el estado de entrenamiento aeróbico. Sin embargo, la intensidad que generó la $Fat_{m\acute{a}x}$ no fue diferente entre los grupos. Por otro lado, no se ha observado ninguna diferencia en la $Fat_{m\acute{a}x}$ o la intensidad a la $Fat_{m\acute{a}x}$ entre los grupos de rendimiento moderado y bajo. Vale la pena advertir que hubo una mayor variación intra-individual en la intensidad que generó la $Fat_{m\acute{a}x}$, como se demostró mediante la desviación estándar elevada para ambos grupos. No obstante, el criterio utilizado para determinar el estado de entrenamiento aeróbico puede afectar la magnitud de las diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$. En consecuencia, los parámetros de rendimiento deberían emplearse con cautela cuando se estudian los efectos del entrenamiento sobre la $Fat_{m\acute{a}x}$ a través de los datos de estudios transversales.

Debería señalarse que los atletas seleccionados para el presente estudio no pueden considerarse corredores de elite (Coetzer et al., 1993; Weston et al., 1999). De hecho, Coetzer et al. (1993) y Weston et al. (1999) sugirieron que los corredores de elite pueden correr 10000 m en menos de 33 min. El grupo más veloz del presente estudio cubrió los 10000 m en 35.5 ± 1.7 min. Por lo tanto, se prefirió utilizar el término “rendimiento moderado” en lugar de “alto rendimiento” para calificar al grupo más veloz. No obstante, las diferencias entre los grupos de rendimiento moderado y bajo, con respecto al tiempo a cubrir los 10000 m, fue de alrededor de 6 min ($p = 0.00001$). Esto sugiere que aunque los sujetos del grupo de rendimiento moderado fueron calificados como mejores corredores y con mejor nivel de rendimiento que sus homólogos del grupo de rendimiento bajo, estos no exhibieron diferencia alguna en la $Fat_{m\acute{a}x}$. La mayor proporción de $VO_{2m\acute{a}x}$ utilizado durante la carrera, no los parámetros de oxidación de grasas, estuvo asociada con el rendimiento de la carrera de 10000 m. Estos resultados podrían sugerir que el rendimiento durante una carrera de 10000 m podría depender de la capacidad de oxidar carbohidratos con rapidez, pues las intensidades de ejercicio más elevadas requieren energía derivada de la fuente de los carbohidratos (Brooks y Mercier, 1994; Brooks y Trimmer, 1996). Con anterioridad, Bergman y Brooks (1999) demostraron que los sujetos entrenados podían mantener una carga de trabajo mayor y gasto de energía a intensidades de alrededor del 59 y 75% $VO_{2m\acute{a}x}$ y esta mayor producción de potencia mecánica se cubría mediante una tasa de oxidación de grasas incrementada. Friedlander et al. (2007) demostraron que los carbohidratos son la fuente principal utilizada por el músculo que trabaja durante el ejercicio a intensidades moderadas y altas, aunque el entrenamiento de la resistencia aumente la capacidad de oxidación de todos los sustratos. No obstante, como no se midió la oxidación de carbohidratos durante la carrera, esta suposición permanece poco clara y los cuestionamientos que surgen a partir de esto requieren una mayor investigación. Sin embargo, si los atletas utilizaran más energía a igual oxidación de grasas, podría significar una mayor oxidación de carbohidratos.

CONCLUSION

En conclusión, los resultados muestran que el criterio utilizado para categorizar el estado de entrenamiento aeróbico de los participantes puede influenciar la magnitud de las diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$ o la intensidad del ejercicio que genera la $Fat_{m\acute{a}x}$. Cuando se utilizó el rendimiento durante un evento simulado para determinar el estado de rendimiento, no se hallaron efectos de entrenamiento significativos sobre la $Fat_{m\acute{a}x}$ ni sobre la intensidad que genera la $Fat_{m\acute{a}x}$. Además, es posible que el rendimiento en la carrera de 10000 m se asocie con una incrementada capacidad para la oxidación de carbohidratos. Sin embargo, es necesario que se realicen más estudios que aborden este tema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Edson Degaki por la asistencia técnica. Flavio Pires agradece a CAPES por su beca de doctorado.

Puntos Clave

- Los resultados del presente estudio sugieren que el criterio utilizado para categorizar el estado de entrenamiento aeróbico de los participantes puede influenciar la magnitud de las diferencias en la $Fat_{m\acute{a}x}$.
- La $Fat_{m\acute{a}x}$ es similar entre los grupos con un rendimiento de carrera de 10000 m similar.
- El rendimiento de carrera de 10000 m parece estar asociado a la incrementada capacidad para oxidar

REFERENCIAS

1. Achten, J., Gleeson, M. and Jeukendrup, A.E (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 92-97
2. Achten, J. and Jeukendrup, A.E (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine* 24, 603-608
3. Achten, J. and Jeukendrup, A.E (2004). Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *International Journal of Sports Medicine* 25, 32-37
4. Achten, J., Venables, M.C. and Jeukendrup, A.E (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism* 52, 747-752
5. Bergman, B.C. and Brooks, G.A (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology* 86, 479-487
6. Brooks, G.A. and Mercier, J (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of Applied Physiology* 76(6), 2253-2261
7. Brooks, G.A. and Trimmer, J.K (1996). Glucose kinetics during high-intensity exercise and the crossover concept. *Journal of Applied Physiology* 80(3), 1073-1075
8. Coetzer, P., Noakes, T.D., Sanders, B., Lambert, M.I., Bosch, A.N., Wiggins, T. and Dennis, S.C (1993). Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. *Journal of Applied Physiology* 75, 1822-1827
9. Costill, D.L., Thomason, H. and Roberts, E (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 5, 248-252
10. Frayn, K.N (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology* 55, 628-634
11. Friedlander, A.L., Jacobs, K.A., Fattor, J.A., Horning, M.A., Hagobian, T.A., Bauer, T.A., Wolfel, E.E. and Brooks, G.A (2007). Contributions of working muscle to whole body lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 292, E107-E116
12. Morgan, D.W., Baldini, F.D., Martin, P.E. and Kohrt, W.M (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, 78-83
13. Noakes, T.D., Myburgh, K.H. and Schall, R (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. *Journal of Sports Science* 8, 35-45
14. Nordby, P., Saltin, B. and Helge, J.W (2006). Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity?. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 16, 209-214
15. Scrimgeour, A.G., Noakes, T.D., Adams, B. and Myburgh, K (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 55, 202-209
16. Stisen, A.B., Stougaard, O., Langfort, J., Helge, J.W., Sahlin, K. and Madsen, K (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *European Journal of Applied Physiology* 98, 497-506
17. van Loon, L.J., Greenhaff, P.L., Constantin-Teodosiu, D., Saris, W.H. and Wagenmakers, A.J (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *Journal of Physiology* 536, 295-304
18. Venables, M.C., Achten, J. and Jeukendrup, A.E (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of Applied Physiology* 98, 160-167
19. Weston, A.R., Karamizrak, O., Smith, A., Noakes, T.D. and Myburgh, K.H (1999). African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. *Journal of Applied Physiology* 86, 915-923
20. Wyndham, C.H., Strydom, N.B., van Rensburg, A.J. and Benade, A.J (1969). Physiological requirements for world-class performances in endurance running. *South African Medical Journal* 43, 996-1002

Cita Original

Adriano E. Lima-Silva, Romulo C. M. Bertuzzi, Flavio O. Pires, Joao F. L. Gagliardi, Ronaldo V. Barros, John Hammond and Maria A. P. D. M. Kiss. Relationship between Training Status and Maximal Fat Oxidation Rate. *Journal of Sports Science and Medicine* (2010) 9, 31 - 35.