

Monograph

# Efecto de la Adaptación al Consumo de Grasas a Corto Plazo sobre el Entrenamiento de Alta Intensidad

Louise M Burke, John A Hawley, Nigel K Stepto, Andrew L Carey, Heidi M Staudacher y Nicola K Cummings

*Sports Science and Sports Medicine, Australian Institute of Sport, Belconnen 2616, Australia.*

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar el efecto de la adaptación a las grasas a corto plazo (3 días) sobre el entrenamiento de alta intensidad en siete atletas de resistencia de competición ( $VO_2$  máximo  $5,0 \pm 0,5$  L.min<sup>-1</sup>, Media $\pm$ DS).

**Métodos:** Antes de realizar el estudio (d-0) los sujetos consumieron una dieta estándar, luego mediante un diseño cruzado y aleatorizado se administraron dos tratamientos: Dieta de 3 días rica en carbohidratos ( $11$  g.kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de CHO,  $1$  g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> de grasa; en adelante denominada HICHO) o una dieta isoenergética con alto contenido en grasa ( $2,6$  g de CHO.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>,  $4,6$  g, de grasa kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>; en adelante denominada HIFAT) separadas por un período de 18 días de *washout*. En el primer (d-1) y cuarto (d-4) día de cada tratamiento, los sujetos realizaron una sesión de entrenamiento de laboratorio estándar que consistió en una entrada en calor de 20-min a 65% de  $VO_2$  pico ( $232 \pm 23$ W) e inmediatamente a continuación series de trabajo (8 x 5 min) a  $86 \pm 2\%$  de  $VO_2$  pico ( $323 \pm 32$  W) con 60-s de recuperación.

**Resultados:** El índice de intercambio respiratorio (medias de las series 1, 4, y 8) fue similar en el d-1 en ambas dietas, HIFAT y HICHO ( $0,91 \pm 0,04$  vs  $0,92 \pm 0,03$ ) y en el d-4 después de la dieta rica en carbohidratos (HICHO) ( $0,92 \pm 0,03$ ), pero disminuyó a  $0,85 \pm 0,03$  ( $p < 0,05$ ) en el d-4 luego de la dieta rica en grasa (HIFAT). En consecuencia, la tasa de oxidación de las grasas aumentó de  $31 \pm 13$  en el d-1 a  $61 \pm 25$   $\mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  en el d-4 después de HIFAT ( $p < 0,05$ ). La concentración de lactato sanguíneo fue similar en el d-1 y d-4 de HICHO y en el d-1 de HIFAT ( $3,5 \pm 0,9$  y  $3,2 \pm 1,0$  vs.  $3,7 \pm 1,2$  mM), pero disminuyó a  $2,4 \pm 0,5$  mM en el d-4 después de HIFAT ( $p < 0,05$ ). El índice de esfuerzo percibido (piernas) fue similar en el d-1 para HIFAT y HICHO ( $14,8 \pm 1,5$  contra  $14,1 \pm 1,4$ ) y en el d-4 después de HICHO ( $13,8 \pm 1,8$ ), pero aumentó a  $16,0 \pm 1,3$  en el d-4 después de HIFAT ( $p < 0,05$ ).

**Conclusiones:**

- 1) Los atletas de resistencia de competición pueden realizar entrenamientos intervalados de alta intensidad durante 3-d de exposición a una dieta rica en grasas,
- 2) dicho ejercicio provoca tasas elevadas de oxidación de grasas, pero,
- 3) en comparación con la dieta rica en carbohidratos, las sesiones de entrenamiento estuvieron asociadas con mayores índices de esfuerzo percibido.

**Palabras Clave:** ciclismo, entrenamiento intervalado, dieta rica en grasas

# INTRODUCCION

---

El efecto de la adaptación al consumo de grasas sobre la capacidad de realizar ejercicios aeróbicos de alta intensidad es poco claro (5, 13, 14, 16, 19). Sin embargo dicha estrategia nutricional, tiene el potencial de aumentar sustancialmente la resistencia a través de cambios en el patrón de utilización de combustibles inducidos por la dieta, que promueven la oxidación de las grasas y el ahorro de glucógeno muscular (5). De hecho, nosotros informamos previamente que la ingesta rica en grasas durante 5 días en combinación con un entrenamiento prolongado de resistencia provocó un aumento de dos veces en la tasa de oxidación de grasas durante prácticas de ciclismo de intensidad moderada (5).

Antes de la participación en eventos de resistencia importantes, frecuentemente los atletas de competición se someten a entrenamientos (24) y prácticas nutricionales (10) especializados. Durante este período, se aumenta la intensidad del entrenamiento, con una reducción concomitante en el volumen (24). Los atletas de resistencia también pueden optar por realizar una dieta corta (3-5 d) de alto contenido de grasas, seguida por el régimen tradicional de incorporación de carbohidratos en los 2 días previos al evento (9). Sin embargo, en los individuos desentrenados, la ingesta de una dieta rica en grasas durante 3-5 días afecta la capacidad de realizar ejercicio, aún cuando la intensidad de entrenamiento sea tan baja como 70% del consumo de oxígeno máximo ( $\text{VO}_2$  pico) (6,7). También hemos observado previamente que, los atletas bien entrenados experimentan síntomas de letargo y están más fatigados cuando realizan una dieta rica en grasa en comparación a cuando consumen una dieta rica en CHO y esto es particularmente evidente durante las sesiones de entrenamiento de alta intensidad (5).

Desgraciadamente, en nuestra investigación previa, no cuantificamos las demandas metabólicas del entrenamiento de alta intensidad ni las respuestas subjetivas de los atletas a los diferentes regímenes dietarios (5). Otros autores que también estudiaron el efecto de adaptación a las grasas sobre el metabolismo y rendimiento, tampoco supervisaron las respuestas de entrenamiento de los sujetos moderadamente entrenados (16) o bien entrenados (19) que participaron en los estudios. Si los atletas se benefician con regímenes nutricionales o de entrenamiento específicos, es necesario que la intensidad de entrenamiento pueda mantenerse mientras se consume una dieta rica en grasas (12).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consistió en determinar si los atletas de resistencia de competición pueden realizar sesiones de entrenamiento de alta intensidad, similares a las que son incorporadas a una puesta a punto o *taper*, mientras consumen una dieta rica en grasa.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Siete ciclistas o triatletas de competición bien entrenados (edad  $24 \pm 6$  años, masa  $75,3 \pm 5,8$  kg, máximo consumo de oxígeno [ $\text{VO}_2$  pico]  $5,0 \pm 0,5$  L.min<sup>-1</sup>, producción de potencia aeróbica máxima [PPO]  $404 \pm 40$  W, Media $\pm$ DS) con una historia (superior a 4 años) de entrenamiento de resistencia regular ( $20 \pm 6$  horas por semana) fueron convocados para participar en este estudio. De acuerdo con las pautas especificadas por el Comité de Ética de Investigaciones Humanas de la Universidad de RMIT, antes de proporcionar su consentimiento informado por escrito, los sujetos fueron informados acerca de los procedimientos experimentales y de los posibles riesgos asociados al estudio.

Estos sujetos eran deportistas de nivel nacional o internacional (tres de ellos compitieron en el Campeonato Mundial de Triatlón "Ironman" realizado en el año 2000 en Hawaii luego de algunas semanas de haber realizado este estudio).

### Evaluaciones Preliminares

Cada sujeto realizó un test de ciclismo máximo, incremental hasta el agotamiento en una bicicleta ergométrica con freno magnético (*Lode Excalibur, Groningen, Holanda*).

El protocolo del test (11) y los procedimientos de recolección de gases (4) fueron descritos en detalle previamente. Los resultados del test máximo fueron utilizados para determinar las producciones de potencia que correspondían al 65% y 85% del  $\text{VO}_2$  pico, qué eran las intensidades seleccionadas para las sesiones de entrenamiento en el laboratorio (detalladas posteriormente).

### Protocolo Experimental

Después de 1 día (d-0) de dieta estandarizada (58% CHO: 9,7 g CHO.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, 27% de grasa, 15% de proteína, energía total 0,25 MJ.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) y de entrenamiento ligero (2-4 h de ciclismo submáximo en ruta), los sujetos fueron sometidos a dos tratamientos dietarios de 3 días siguiendo un diseño cruzado aleatorizado con un período de 18-días de *washout* de separación entre cada dieta. Cada sujeto fue asignado a una dieta rica en grasas (>65% de energía; HIFAT), baja en CHO (<20% de energía), o a una dieta isoenergética (0,25 MJ.kg<sup>-1</sup> BM) rica en CHO (70-75% de energía; HICHO), baja en grasas (<15% de energía). La ingesta energética en cada dieta fue estimada, en base a los informes de ingesta habitual aportados por los participantes y a cálculos factoriales de gasto de energía anticipado, para que los sujetos mantuvieran su equilibrio energético. Las dietas habituales de estos sujetos se desarrollaron para que la composición de macronutrientes fuera similar a la dieta estándar (es decir, ~ 10 g.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> CHO, proporcionando 60% de energía). Las dietas fueron diseñadas para maximizar, o por lo menos equiparar, la energía absorbible; la ingesta de fibra fue fijada en una ingesta diaria promedio de 50 g y mantenida dentro de los 5-10 g diarios entre los tratamientos. Los alimentos que contenían carbohidratos con un índice glucémico muy bajo o con un alto contenido de almidón resistente fueron evitados. Se proporcionó a los sujetos todos los bocadillos y comidas, con dietas individualizadas, de acuerdo a las preferencias de los participantes.

Al menos una comida diaria fue consumida bajo vigilancia en el laboratorio, y la comida restante para cada período de 24-h fue proporcionada en viandas preparadas previamente. Los sujetos registraron un diario de comidas, donde diariamente debían informar toda la ingesta de alimentos y bebidas para maximizar el cumplimiento de las dietas prescriptas.

Todos los alimentos no consumidos fueron devueltos y descontados de la ingesta total de ese día. Además, diariamente se llevaron registros de entrenamiento en un diario proporcionado a cada sujeto, para asegurar que el entrenamiento fuera similar durante los dos períodos de intervención dietaria. Aunque los sujetos eran conscientes del tratamiento que estaban recibiendo (debido a que no era posible ocultar las dietas), el investigador responsable de la recolección de datos no conocía el orden de los tratamientos.

Para determinar el efecto de los tratamientos dietarios sobre el metabolismo de los sustratos durante el ejercicio, dentro del programa de entrenamiento de cada sujeto se programaron dos sesiones de entrenamiento intervalado de alta intensidad. Estas sesiones estandarizadas fueron realizadas bajo supervisión en el laboratorio en una bicicleta ergométrica Lode. La primera sesión de entrenamiento intervalado fue realizada luego de un ayuno de toda la noche y antes de comenzar cualquier dieta (d-1). El objetivo de esta sesión fue provocar una pronunciada disminución de la concentración de glucógeno muscular (25) e iniciar una rápida diferenciación entre los tratamientos dietéticos en base a la capacidad de los sujetos de restaurar el glucógeno consumido. Una segunda sesión de laboratorio se realizó el último día (d-4) de cada tratamiento (es decir, luego de 3 días de intervención dietética), también después de un ayuno de toda la noche.

El día de la sesión de entrenamiento intervalado, los sujetos arribaron al laboratorio entre las 07:00 y 08:00 h después un ayuno de aproximadamente 10 a 12 horas (durante toda la noche). Fueron pesados y se les insertó una cánula de Teflón (20 G, *Optiva TM, Johnson & Johnson Intl.*, Bruselas, Bélgica) en la vena antecubital del antebrazo para obtener rápidamente una muestra de sangre a través de una válvula estéril (*Safsite valve, B. Braun Medical Inc., Lakeside, PA*). En ese momento, se extrajo una muestra de sangre de 10 mL. Después de cada extracción, la cánula fue llenada con 1-2 mL de solución salina estéril al 0,9% para mantener la vena abierta. Luego de descansar sentados y callados durante 10 min, los sujetos subieron a la bicicleta ergométrica y realizaron una entrada en calor pedaleando durante 20-min con una carga de trabajo constante que permitiera alcanzar aproximadamente el 65% de VO<sub>2</sub> pico. Durante los últimos 60 s de esta entrada en calor se tomó una muestra de sangre adicional. Luego de un descanso de 10-min en el que los participantes permanecieron sentados en la bicicleta ergométrica, los sujetos comenzaron la sesión de entrenamiento intervalado que consistió en 8 series de trabajo de 5 min (8 x 5) al 86±2 % VO<sub>2</sub> pico (323±32W) con un período de 60 s de recuperación activa (100 W) entre las series (proporción trabajo: descanso de 5:1). Una sesión de entrenamiento como esta es característica de los entrenamientos realizados por atletas de ultra-resistencia durante la puesta a punto (Hawley JA, datos no publicados). Las condiciones ambientales del laboratorio fueron mantenidas en 20°C y 46% de humedad relativa. Los sujetos fueron refrescados con un ventilador (con una velocidad de viento de ~ 7 m.s<sup>-1</sup>) y consumieron la cantidad de agua que consideraran necesaria a lo largo de la sesión de entrenamiento. Durante los últimos 10 min de los 20 min de pedaleo de entrada en calor y a lo largo de las series de trabajo 1, 4 y 8 de la sesión de entrenamiento intervalado, se tomaron muestras de los gases pulmonares.

Se tomaron muestras de sangre (~10 mL) luego de la finalización de las repeticiones 1, 4, y 8, mientras que la frecuencia cardíaca de los sujetos (HR) fue constantemente supervisada mediante telemetría (*Accurex; Plus; Polar Electro OY, Kempele, Finlandia*). Al finalizar cada sesión de trabajo se registraron las valoraciones subjetivas del índice de esfuerzo percibido (RPE) para las piernas utilizando una escala de 6 a 20.

En los días 2 y 3 de cada tratamiento dietario, los sujetos realizaron su entrenamiento normal y lo registraron en un diario. Al finalizar la sesión de entrenamiento, los sujetos evaluaron el entrenamiento mediante una escala de 7 puntos dónde 1 indicaba que "el sujeto se sintió bien durante todas las secciones del entrenamiento" y 7 indicaba que "el sujeto se sintió

muy mal a lo largo del entrenamiento." Durante la intervención dietaria cruzada, los sujetos repitieron sus programas de entrenamiento realizados fuera del laboratorio. Al final de los días 1 y 4 de cada tratamiento, los sujetos completaron el formulario de "Perfil del Estado de Animo" (POMS) (17) para detectar cualquier cambio psicológico asociado con la intervención dietaria.

## Análisis

### Tasas de Oxidación de Sustratos

Las tasas de oxidación de CHO y de grasas ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ ) de todo el cuerpo fueron calculadas a partir de los valores de  $\text{VCO}_2$  y  $\text{VO}_2$  utilizando los valores de RER no proteicos (18). Por consiguiente, nosotros asumimos que la cantidad de proteína oxidada es pequeña y que otros procesos metabólicos que involucran la producción y/o consumo de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  (por ejemplo, gluconeogénesis a partir de proteínas, formación de cuerpo cetónicos, y lipogénesis) son despreciables en comparación con la oxidación de la glucosa y de los ácidos grasos (18). Tales suposiciones parecen razonables, ya que incluso al ingerir la dieta rica en grasas, los sujetos consumían  $\sim 200 \text{ g CHO}\cdot\text{d}^{-1}$ . Estas ecuaciones se basan en la premisa de que el  $\text{VO}_2$  y  $\text{VCO}_2$  reflejan con exactitud el consumo de  $\text{O}_2$  y la producción de  $\text{CO}_2$  de los tejidos. Ha sido demostrado previamente en sujetos bien entrenados, como los que participaron en la presente investigación, que la calorimetría es un método válido para cuantificar tasas de oxidación de sustratos durante la realización de ejercicio activo a  $\sim 85\%$  de  $\text{VO}_2$  pico (21). Las tasas de oxidación de grasas ( $\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) fueron determinadas convirtiendo la tasa de oxidación de los triacilglicéridos expresada en  $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$  a su equivalente molar, asumiendo que el peso molecular promedio de un triacilglicérido humano es de  $855,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  y multiplicando la tasa molar de oxidación de triacilglicéridos por 3, porque cada molécula contiene 3 moles de ácidos grasos (FA). Las tasas de oxidación de CHO ( $\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) fueron determinadas convirtiendo la tasa de oxidación de CHO expresada en  $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$  a su equivalente molar.

El gasto energético total durante las sesiones de entrenamiento en laboratorio fue estimado a partir de los valores de  $\text{VO}_2$  y  $\text{VCO}_2$  en estado estable ( $37,5 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  y  $16,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  para las grasas y CHO, respectivamente).

### Determinación de Metabolitos en Sangre

Las concentraciones de glucosa y de lactato en sangre fueron analizadas inmediatamente en las muestras de sangre ( $\sim 3 \text{ mL}$ ) mediante un analizador automático 2300 Stat Plus (Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH). Luego,  $3 \text{ mL}$  de sangre fueron agregados a un tubo que contenía una alícuota de solución conservadora que consistía de ácido dietilenglicol (amino etil-eter)-N, N, N', N'- tetra-acético y glutatión reducido en solución salina normal, y fue agitado suavemente y posteriormente centrifugado (J6-MC Beckman Instruments Inc., Yellow Springs, CA), durante  $8 \text{ min}$  a  $4500 \text{ rev}$ . A continuación se analizó la concentración ácidos grasos libres (FFA) en el plasma mediante un método enzimático colorimétrico (Wako, NEFAC code 279-75409, Tokio, Japón). La sangre restante fue transferida a otro tubo que contenía heparina de litio y fue centrifugada a  $4500 \text{ rev}$ . durante  $15 \text{ min}$ ; se colocaron  $500 \mu\text{L}$  de plasma en un tubo que contenía  $500 \mu\text{L}$  de ácido perclórico  $3 \text{ M}$  enfriado en hielo, se agitó vigorosamente en un vórtex y se centrifugó; a continuación,  $800 \mu\text{L}$  del sobrenadante fueron transferidos a un tubo que contenía  $200 \mu\text{L}$  de hidróxido de potasio  $6 \text{ M}$ , mezclados y centrifugados a  $10000 \text{ rev}$ . durante  $5 \text{ min}$ . El sobrenadante obtenido fue analizado para determinar la concentración plasmática de glicerol mediante un análisis enzimático fluorométrico (20).

### Análisis Estadísticos

Los datos correspondientes a las sesiones de entrenamiento de laboratorio fueron analizados mediante un ANOVA de tres factores (dieta x día x tiempo). El volumen de entrenamiento y el RPE obtenidos durante las sesiones de entrenamiento con las dos dietas diferentes, fueron analizados mediante test-t para muestras de a pares. Todos los análisis fueron realizados utilizando el *software* Statistica para Windows versión 5,1 (StatSoft Inc., 1997, Tulsa, OK). Todos los datos se expresan como Media $\pm$ DS.

La significancia estadística fue fijada en  $p\leq 0,05$ .

## RESULTADOS

### Cumplimiento de la Dieta y del Entrenamiento

Los sujetos tuvieron un excelente acatamiento a los dos tratamientos dietarios: los informes de ingesta de CHO del d-1 al d-4 fueron en promedio  $11,00\pm 0,03$  y  $2,60\pm 0,07 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  para HICHO y HIFAT, respectivamente, y tal como se pretendía,

fueron significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ).

La ingesta de grasas informadas para el mismo período fueron  $1,01 \pm 0,03 \text{ g.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$  para *HICHO* y  $4,62 \pm 0,23 \text{ g.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$  para *HIFAT* ( $p < 0,001$ ). El tiempo total destinado al entrenamiento realizado fuera del laboratorio durante los períodos en los que se realizó la dieta fueron  $820 \pm 201 \text{ min}$  y  $788 \pm 196 \text{ min}$  para *HICHO* y *HIFAT*, respectivamente (NS).

De los cuales,  $608 \pm 198 \text{ min}$  y  $578 \pm 172 \text{ min}$  fueron destinados al ciclismo (NS) y  $210 \pm 176 \text{ min}$  y  $210 \pm 172 \text{ min}$  fueron destinados a "otros entrenamientos" (natación, trote, o pesas) en *HICHO* y *HIFAT*, respectivamente (NS).

### Frecuencia Cardíaca, Índice de Esfuerzo Percibido durante el Entrenamiento y Perfil de Estados de Ánimo (POMS)

Los índices de esfuerzo percibido durante el entrenamiento fuera del laboratorio fueron mayores en la dieta *HIFAT*, tanto en ciclismo ( $p < 0,05$ ) como en los "otros entrenamientos" ( $p < 0,01$ ) en comparación con la dieta *HICHO*. No se observaron diferencias entre los dos tratamientos dietarios en la puntuación global del POMS en el d-1 ( $143 \pm 71$  y  $134 \pm 120$ ). Sin embargo, en el d-4 la puntuación POMS fue mayor en la dieta *HIFAT* ( $232 \pm 89$ ) que en *HICHO* ( $94 \pm 90$ ,  $p < 0,01$ ). En el d-1 de ambos tratamientos dietarios, las puntuaciones POMS para la fatiga fueron similares ( $42 \pm 21$  vs.  $35 \pm 20$  para *HICHO* y *HIFAT*, respectivamente) pero en el d-4 los valores fueron más altos en la dieta *HIFAT* ( $66 \pm 18$ ,  $p < 0,01$ ).

Las HR durante la entrada en calor de 20-min previa a cada sesión de entrenamiento intervalado en el laboratorio alcanzaron un valor promedio de  $130 \text{ latidos} \cdot \text{min}^{-1}$  y no se observaron diferencias entre los dos tratamientos dietarios. Durante las sesiones de entrenamiento, la HR se incrementó de manera característica desde  $155 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$  al final de la primera serie de trabajo hasta  $\sim 165 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$  al final de la última repetición y este incremento fue similar en ambos tratamientos. El RPE (piernas) fue similar en ambas dietas, *HICHO* y *HIFAT* en el d-1 ( $14,1 \pm 1,4$  y  $14,8 \pm 1,5$ ) y en el d-4 de la dieta *HICHO* ( $13,8 \pm 1,8$ ). Sin embargo, el RPE fue significativamente mayor en el d-4 del tratamiento *HIFAT* ( $16,0 \pm 1,3$ ) comparado con todas las otras condiciones ( $p < 0,05$ ). Un sujeto no logró realizar completamente la sesión de entrenamiento de laboratorio en el d-4 de la dieta *HIFAT*. En este caso, el sujeto realizó las primeras cuatro series de trabajo a la intensidad solicitada (85% de  $\text{VO}_2$  pico) pero realizó las últimas cuatro repeticiones con una tasa de trabajo menor ( $\sim 70\%$  de  $\text{VO}_2$  pico).

### Mediciones de los Gases Pulmonares y Oxidación de Combustibles

En la Tabla 1 se muestran las determinaciones de intercambio gaseoso realizadas durante la entrada en calor pedaleando durante 20-min a 65%  $\text{VO}_2$  pico y a lo largo de las series de trabajo 1, 4, y 8 de las sesiones de entrenamiento intervalado realizadas a  $86 \pm 2\%$  del  $\text{VO}_2$  pico. El  $\text{VO}_2$  fue similar en todas las entradas en calor realizadas pedaleando durante 20 min ( $\sim 3,2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y aumentó a  $\sim 4,4 \pm 0,3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  durante las series de trabajo de alta intensidad ( $p < 0,001$ ). Los valores RER fueron similares durante los 20-min de pedaleo en los dos días de la dieta *HICHO* y en el d-1 de la dieta *HIFAT*, pero fueron menores en el d-4 de la dieta rica en grasas ( $0,79 \pm 0,03$  vs.  $0,85 \pm 0,03$ ,  $p < 0,01$ ). Durante las series de trabajo de alta intensidad, el RER disminuyó desde la serie 1 a la 8 en ambos días del tratamiento *HICHO* y en el d-1 del tratamiento *HIFAT* ( $p < 0,01$ ).

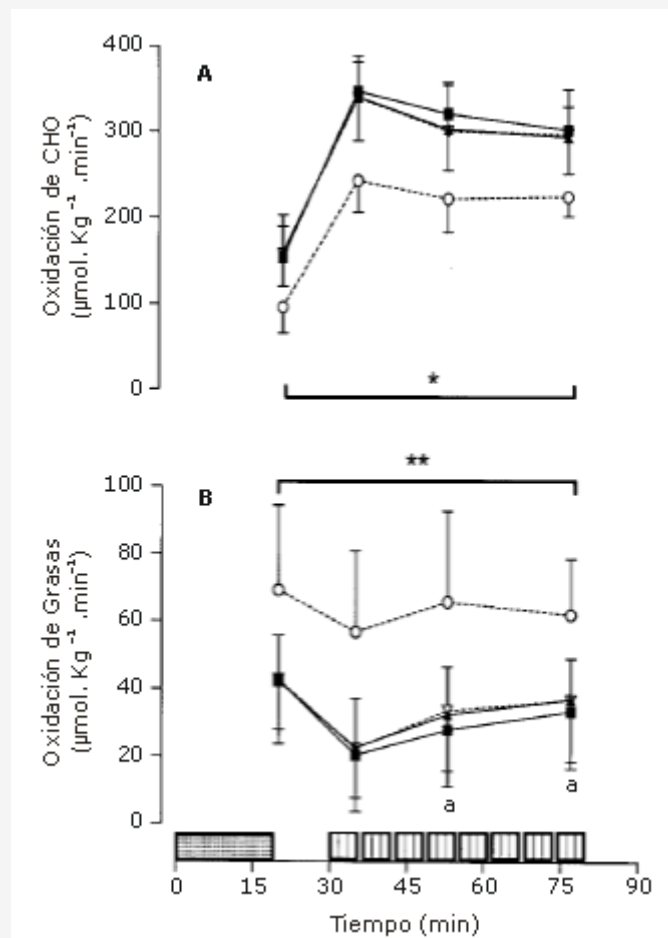
Sin embargo, el valor de RER en el d-4 de la dieta *HIFAT*, fue el más bajo de todas las sesiones de entrenamiento en comparación con tiempos similares en todas las otras condiciones ( $p < 0,01$ ) y no varió significativamente desde la primera a la última serie de trabajo.

	<b>HICHO d-1</b>	<b>HICHO d-4</b>	<b>HIFAT d-1</b>	<b>HIFAT d-4</b>
<b><math>\text{VO}_2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}</math></b>				
<b>Pedaleo SS</b>	$3,19 \pm 0,22$	$3,18 \pm 0,27$	$3,21 \pm 0,24$	$3,27 \pm 0,22$
<b>Serie de trabajo 1</b>	$4,25 \pm 0,40$	$4,26 \pm 0,40$	$4,25 \pm 0,36$	$4,33 \pm 0,36$
<b>Serie de trabajo 4</b>	$4,32 \pm 0,42$	$4,26 \pm 0,37$	$4,32 \pm 0,40$	$4,38 \pm 0,30$
<b>Serie de trabajo 8</b>	$4,35 \pm 0,39$	$4,32 \pm 0,32$	$4,40 \pm 0,33$	$4,53 \pm 0,23$
<b>RER</b>				
<b>Pedaleo SS</b>	$0,85 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,04$	$0,79 \pm 0,03 \uparrow$
<b>Serie de trabajo 1</b>	$0,94 \pm 0,04$	$0,94 \pm 0,03$	$0,94 \pm 0,05$	$0,86 \pm 0,03 \uparrow$
<b>Serie de trabajo 4</b>	$0,92 \pm 0,03 \ast$	$0,91 \pm 0,03 \ast$	$0,90 \pm 0,03 \ast$	$0,85 \pm 0,03 \uparrow$
<b>Serie de trabajo 8</b>	$0,91 \pm 0,03 \ast$	$0,90 \pm 0,04 \ast$	$0,90 \pm 0,03 \ast$	$0,85 \pm 0,02 \uparrow$

**Tabla 1.** Determinaciones de intercambio gaseoso pulmonar durante las sesiones de ejercicios en laboratorio. Todos los valores se

expresan como Media $\pm$ DS; n=7. VO<sub>2</sub>, consumo de oxígeno; HICHO=dieta rica en carbohidratos; HIFAT, dieta rica en grasas; Pedaleo SS, 20 min de pedaleo con una carga de trabajo correspondiente al 65% del consumo máximo de oxígeno. \* Presenta diferencias significativas con respecto a la serie de trabajo 1 (p<0,01). † Presenta diferencias significativas con respecto al d-1 de HICHO, d-4 de HICHO, y d-1 de HIFAT (p<0,01).

En la Figura 1 se observan las tasas de oxidación de CHO (Gráfico A) y de grasas (Gráfico B) determinadas durante la entrada en calor de 20-min de pedaleo y las series de trabajo 1, 4, y 8 de las sesiones de entrenamiento intervalado. Las tasas de oxidación de CHO fueron menores (p<0,01), tanto durante el pedaleo de 20-min y en cada serie de trabajo de la sesión de entrenamiento en el d-4 de HIFAT en comparación con todas las otras condiciones. Por consiguiente, las tasas de oxidación de grasas (Gráfico B) fueron significativamente más altas (p<0,05) durante la entrada de calor de 20-min de pedaleo y a lo largo de las series de trabajo 1, 4, y 8 del d-4 de la dieta HIFAT que durante todas las otras mediciones.



**Figura 1.** Tasas de oxidación de carbohidratos (Gráfico A) y grasas (Gráfico B) determinadas durante la entrada en calor de 20 min de pedaleo al 65% del VO<sub>2</sub> pico (■) y despu

## REFERENCIAS

1. Astrand P. O., I. Hallback, R. Hedman, and B. Saltin (1963). Blood lactates after prolonged, severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 18:619-622
2. Borg G (1975). Simple rating method for estimation of perceived exertion. In: *Physical Work and Effort*, G. Borg (Ed.). New York:

Pergamon, pp. 39-46

3. Brooks G. A., and J. Mercier (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J. Appl. Physiol.* 76:2253-2261
4. Bruce C. R., M. E. Anderson, S. F. Fraser, et al (2000). Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 32:1958-1963
5. Burke L. M., D. J. Angus, G. R. Cox, et al (2000). Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling. *J. Appl. Physiol.* 89:2413-2421
6. Christensen E. H., and O. Hansen (1939). Arbeitsfa"tigkeit und Ern"rung (Physical performance and nutrition). *Scand. Arch. Physiol.* 81:160-171
7. Galbo H., J. J. Holst, and N. J. Christensen (1979). The effect of different diets and of insulin on the hormonal response to prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 107:19-32
8. Gollnick P. D (1985). Metabolism of substrates: energy substrates during exercise as modified by training. *Fed. Proc.* 44:353-357
9. Hawley J. A., F. Brouns, and A. E. Jeukendrup (1998). Strategies to enhance fat utilization during exercise. *Sports Med.* 25:241-257
10. Hawley J. A., and W. G. Hopkins (1995). Aerobic glycolytic and aerobic lipolytic power systems. A new paradigm with implications for endurance and ultra endurance events. *Sports Med.* 19:240-250
11. Hawley J. A., and T. D. Noakes (1992). Peak sustained power output predicts VO<sub>2</sub>max and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65:79-83
12. Helge J. W (2000). Adaptations to a fat-rich diet: effects on endurance performance in humans. *Sports Med.* 30:347-357
13. Helge J. W., E. A. Richter, and B. Kiens (1996). Interaction of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *J. Physiol.* 492:293-306
14. Helge J. W., B. Wulff, and B. Kiens (1998). Impact of a fat-rich diet on endurance in man: role of dietary period. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:456-461
15. Lambert E. V., D. P. Speechly, S. C. Dennis, and T. D. Noakes (1994). Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to a high fat diet. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69:287-293
16. McNair D. N., and M. Lorr (1971). Droppelman: Profile of Moods States Manual. *San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service*
17. Peronnet, F., and D. Massicotte (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can. J. Sport Sci.* 16:23-29
18. Phinney S. D., B. R. Bistrian, W. J. Evans, E. Gervino, and G. L. Blackburn (1983). The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restrictions: preservation of submaximal exercise capacity with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism* 32: 769-776
19. Pinter J. K., J. A. Hayashi, and J. A. Watson (1967). Enzymatic assay of glycerol, dihydroxyacetone and glyceraldehyde. *Arch. Biochem. Biophys.* 121:404
20. Romijn J. A., E. F. Coyle, J. Hibbert, and R. R. Wolfe (1992). Comparison of indirect calorimetry and a new breath 13C/12C ratio, method during strenuous exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 263:E64-E71
21. Romijn J. A., E. F. Coyle, S. Sidossis, et al (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 265:E380-E391
22. Sahlin K., A. Katz, and S. Broberg (1990). Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 259:C834-C841
23. Shepley B., J. D. Macdougall, N. Cipriano, J. R. Sutton, M. A. Tarnapolsky, and G. Coates (1992). Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J. Appl. Physiol.* 72:706-711
24. Stepto N. K., D. T. Martin, K. E. Fallon, and J. A. Hawley (2001). High metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:303-310

## Cita Original

Stepto, N. K., A. L. Carey, H. M. Staudacher, N. K. Cummings, L. M. Burke, y J. A. Hawley. Effect of short term fat adaptation on high intensity training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 34, No. 3, pp. 449-455, 2002.