



Original/Deporte y ejercicio

# Estudio comparado de la intensidad de entrenamiento sobre la máxima tasa de oxidación de grasas

David Ulloa<sup>1</sup>, Belén Feriche<sup>2</sup>, Paola Barboza<sup>3</sup> y Paulino Padial<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Católica de la Santísima Concepción. Facultad de Educación. Concepción. Chile. <sup>2</sup>Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada. Granada. España. <sup>3</sup>Universidad Andres Bello. Facultad de Educación. Sede Concepción. Chile.

## Resumen

**Introducción:** El ejercicio físico es un importante modulador de la máxima tasa de oxidación de grasas (MFO). Sin embargo, en la relación MFO-ejercicio, las zonas de transición metabólica en la prescripción del ejercicio no son consideradas.

**Objetivo:** Conocer el efecto del entrenamiento en diferentes zonas de transición metabólica sobre la cinética de la MFO y su localización (Fatmax) en jóvenes varones activos.

**Método:** 97 varones fueron distribuidos en 4 grupos homogéneos, 3 experimentales y un grupo control (GC). Cada grupo experimental participó en 8 semanas de entrenamiento administrado de forma continua a intensidad de umbral aeróbico o VT1 ( $CC_{VT1}$ ), interválica en umbral anaeróbico o VT2 ( $IT_{VT2}$ ), y en potencia aeróbica máxima o  $VO_{2max}$  ( $IT_{VO2max}$ ). Antes y después del tratamiento los sujetos fueron testados en sendas pruebas con control de gases espirados para determinar el  $VO_{2max}$ , VT1 y VT2, y la MFO (calorimetría indirecta) y Fatmax.

**Resultados:** Los resultados muestran un incremento (entre 16,49 y 18,51%;  $p < 0,01$ ) en la MFO en los grupos experimentales. La Fatmax se redujo de media del  $60,72 \pm 10,52$  al  $52,35 \pm 7,61$  %  $VO_{2max}$  ( $p < 0,01$ ) por efecto del entrenamiento. El grupo control no experimentó cambios de interés. El análisis intergrupo no presentó diferencias entre los grupos experimentales en ambas variables, sin embargo la comparación contra el GC, reflejó un mayor descenso de la Fatmax en  $CC_{VT1}$  ( $p < 0,05$ ). No se registraron cambios en el rendimiento, salvo un descenso del  $VO_{2max}$  en el GC ( $p < 0,05$ ).

**Conclusión:** 8 semanas de entrenamiento de diferente intensidad incrementan la MFO y reducen la Fatmax.

(Nutr Hosp. 2015;31:421-429)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7424

Palabras clave: Metabolismo lipídico. Calorimetría indirecta. Entrenamiento. Deporte.

**Correspondencia:** Prof. David Leonardo Ulloa Dfáz. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Caupolicán 497, Concepción (Chile). E-mail: dulloa@ucsc.cl

Recibido: 13-III-2014.  
1.ª Revisión: 1-V-2014.  
2.ª Revisión: 13-VII-2014.  
Aceptado: 22-VIII-2014.

## EFFECT OF TRAINING INTENSITY ON THE FAT OXIDATION RATE

### Abstract

**Introduction.** Physical exercise is a key modulator of the maximum fat oxidation rate (MFO). However, the metabolic transition zones in the MFO-exercise relationship are not generally considered for training prescription.

**Objective.** To examine the effects of training in different metabolic transition zones on the kinetics of MFO and its localization (Fatmax) in young physically active men.

**Methods.** 97 men were divided into 4 similar sized groups, 3 experimental groups and a control group (CG). Subjects in each experimental group undertook an 8-week running program. Training was continuous at the intensity of the aerobic threshold or VT1 ( $CC_{VT1}$ ); or performed as intervals at the intensity of the anaerobic threshold or VT2 ( $IT_{VT2}$ ); or at maximum aerobic power  $VO_{2max}$  ( $IT_{VO2max}$ ). Before and after the training intervention, expired gases were monitored in each subject to determine  $VO_{2max}$ , VT1, VT2, MFO (by indirect calorimetry) and Fatmax.

**Results.** In response to training, experimental groups showed an increase in MFO (from 16,49 to 18,51%;  $p < 0,01$ ) and a mean reduction in Fatmax of  $60,72 \pm 10,52$  to  $52,35 \pm 7,61$  %  $VO_{2max}$  ( $p < 0,01$ ). No changes of interest were observed in the control subjects. Intergroup comparisons revealed no differences in MFO and Fatmax among the experimental groups, though compared to the CG, a greater reduction in Fatmax was observed in  $CC_{VT1}$  ( $p < 0,05$ ). No changes were detected in performance except a drop in  $VO_{2max}$  in the GC ( $p < 0,05$ ).

**Conclusion.** 8 weeks of training led to an increase in MFO and reduction in Fatmax irrespective of training intensity.

(Nutr Hosp. 2015;31:421-429)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7424

Keywords: Lipid metabolism. Indirect calorimetry. Exercise therapy. Sports.

## Abreviaturas

- CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono.  
CC<sub>VT1</sub> = Grupo experimental que ejecutó en entrenamiento continuo a intensidad VT1.  
Fatmax = Intensidad donde se alcanza la máxima tasa de oxidación de grasas.  
FC = Frecuencia Cardíaca.  
MFO = Máxima tasa de oxidación de grasas.  
FO = Oxidación de grasas.  
GC = Grupo control.  
IC = Intervalo de confianza.  
IMC = Índice de masa corporal.  
IT<sub>VO<sub>2</sub>max</sub> = Grupo experimental que ejecuto entrenamiento interválico a intensidad VO<sub>2</sub>max.  
IT<sub>VT2</sub> = Grupo experimental que ejecuto entrenamiento interválico a intensidad VT2.  
n = tamaño de la muestra de estudio.  
N = tasa de excreción de nitrógeno.  
O<sub>2</sub> = Oxígeno.  
VO<sub>2</sub>Fatmax = Consumo de oxígeno en Fatmax.  
VO<sub>2</sub>max = Consumo máximo de oxígeno.  
VCO<sub>2</sub> = Volumen de dióxido de carbono.  
VE = Ventilación Minuto.  
VE/VCO<sub>2</sub> = Equivalente ventilatorio CO<sub>2</sub>.  
VE/VO<sub>2</sub> = Equivalente ventilatorio O<sub>2</sub>.  
VO<sub>2</sub> = Consumo de oxígeno.  
VT1 = Umbral ventilatorio 1.  
VT2 = Umbral ventilatorio 2.

## Introducción

El gasto metabólico basal y los mecanismos que condicionan la oxidación de grasas (FO) en reposo y ejercicio son actualmente un importante campo de estudio<sup>1,2</sup>. La FO durante el ejercicio físico depende de diversos factores, tales como la glucemia<sup>3</sup>, nivel de hormonas circulantes<sup>4</sup>, estado de perfusión del tejido adiposo y muscular<sup>5</sup>, transporte de ácidos grasos hacia la célula muscular<sup>6</sup>, actividad enzimática y función mitocondrial muscular<sup>7</sup>. Sin embargo, estos factores son modulados, en mayor o menor medida, por el ejercicio físico (intensidad, duración y tipo). Así, el ejercicio de larga duración y baja intensidad se asocia a una mayor FO, cuya tasa se incrementa a medida que se eleva la intensidad hasta alcanzar aproximadamente el 70% del consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max), y posteriormente desciende cuando se sobrepasa 85% VO<sub>2</sub>max<sup>8</sup>.

La intensidad de ejercicio donde se alcanza la máxima tasa de oxidación de grasas (MFO) se conoce como Fatmax, y fue descrita por primera vez en 2001 por Jeukendrup<sup>9</sup>. Los estudios sobre la Fatmax se han centrado en los procedimientos de su valoración y determinación<sup>10-11</sup>, siendo evidente una gran variabilidad interindividual en su localización, que oscila entre el 40% y el 75% del VO<sub>2</sub>max<sup>12</sup>.

No existe en la literatura un claro consenso sobre el tipo de entrenamiento (continuo o de tipo interválico) que es más eficaz para mejorar la FO. Los estudios dis-

ponibles, realizados en poblaciones diversas y con periodos de entrenamiento de entre 2-12 semanas, arrojan una gran horquilla de cambio en el VO<sub>2</sub>max<sup>13-15</sup>, sin que se observe una clara diferencia del tipo de entrenamiento sobre la MFO<sup>16</sup>. Igualmente, en la comparación de 2 grupos de estudio que ejecutaron 4 semanas de 2 entrenamientos intermitentes de diferente intensidad, Alkahtani et al. (2013)<sup>13</sup> tampoco registraron un efecto diferente del entrenamiento sobre la tasa de oxidación de grasas.

La falta de consenso en la literatura sobre el efecto de la intensidad y tipo de entrenamiento en la FO es debida a las discrepancias metodológicas entre estudios, haciéndolos no comparables: la mayoría carece de grupo control, presentan niveles de condición física dispares entre participantes, muestran diferencias en los protocolos para determinar los cambios en la FO, emplean distintos tipos y métodos de entrenamiento, y son muy variables en el procedimiento de control de la carga de ejercicio. En algunos casos, la programación de la intensidad del entrenamiento se ha realizado a partir de la aplicación de modelos teóricos que expresan la carga como porcentajes de la frecuencia cardíaca máxima<sup>17</sup>, de la reserva cardíaca<sup>18</sup> o del VO<sub>2</sub>max y/o consumo pico alcanzado<sup>19-20</sup>, procedimientos que no representan la carga interna real del entrenamiento. Estos modelos de organización de la carga no tienen en cuenta la zona metabólica sobre la que inciden (aeróbica, mixta o anaeróbica), siendo este aspecto un factor determinante en el efecto del entrenamiento de resistencia, y por tanto en la oxidación de grasas. Algunos estudios describen una estrecha relación entre la carga de trabajo en el umbral de lactato<sup>21</sup> y el umbral ventilatorio 1 (VT1) con la MFO y Fatmax<sup>22</sup>. Sin embargo, el efecto del entrenamiento en ésta y otras zonas de transición metabólica, como el umbral anaeróbico o el VO<sub>2</sub>max, sobre la FO y la Fatmax, no se describe con profundidad en la literatura disponible. Un mayor conocimiento sobre esta relación podría ser de gran ayuda para determinar la estrategia adecuada de ejercicio a seguir cuando se busca incrementar la actividad del metabolismo graso en aquellas poblaciones que quieran disminuir el peso corporal o mantener su estado nutricional.

## Objetivo

Por tanto, el objetivo fundamental de este estudio es el de determinar el efecto del entrenamiento en diferentes zonas de transición metabólica sobre la cinética de la MFO y su localización (Fatmax), en jóvenes varones activos.

## Métodos

### Diseño

Se ha empleado un diseño experimental multigrupo con grupo control aleatorizado, medidas pre-post y comparación inter-grupos. Los sujetos participantes se

asignaron a cuatro grupos de estudio, cada uno de los cuales ejecutó 8 semanas de entrenamiento de resistencia de diferente intensidad e igual volumen (en umbral aeróbico, umbral anaeróbico y  $VO_{2max}$ ), contando además con un grupo control. Se analizó el efecto del tiempo y tipo de entrenamiento sobre las variables de rendimiento y las vinculadas a la MFO y Fatmax en los 4 grupos.

### Población

La muestra de estudio (n) se compuso de 97 jóvenes varones voluntarios y activos de  $18,65 \pm 1,06$  años de edad,  $69,80 \pm 9,73$  kg de peso,  $173 \pm 5,4$  cm de altura, un consumo de oxígeno en Fatmax ( $VO_{2Fatmax}$ ) de  $32,30 \pm 5,23$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  y un  $VO_{2max}$  de  $54,65 \pm 6,90$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Todos los participantes iniciaban un programa de instrucción militar en la escuela de grumetes "Alejandro Navarro Cisternas" de la Armada de Chile, habiendo superado con éxito el examen médico (historial clínico, examen postural, visual, odontológico y hemograma completo) y las pruebas físicas de acceso a la Escuela, por lo que presentaban un buen estado de salud y de condición física. La ingesta de fármacos o suplementos dietéticos que pudieran alterar el metabolismo se consideró como causa de exclusión del estudio. El control de esta ingesta se realizó por el médico de la armada durante la historia clínica, siendo la prescripción y suministro de cualquier fármaco responsabilidad de la armada. Previo al inicio del estudio se contó con el consentimiento informado de todos los participantes. El procedimiento seguido fue ajustado conforme a las normas establecidas en la Declaración de Helsinki y contó con la aprobación del Comité de Ética de la entidad local.

La muestra se dividió en cuatro grupos: tres grupos experimentales y un grupo control (GC). Se denominó  $CC_{VT1}$ , al grupo que ejecutó un entrenamiento continuo a la intensidad correspondiente al umbral ventilatorio 1 o VT1;  $IT_{VT2}$ , al grupo que ejecutó un entrenamiento interválico a la intensidad correspondiente al umbral ventilatorio 2 o VT2; y  $IT_{VO2max}$ , al grupo que ejecutó un entrenamiento interválico a la intensidad correspon-

diente al  $VO_{2max}$ . Todos los grupos fueron homogéneos en el inicio del periodo de intervención en términos de edad, índice de masa corporal (IMC),  $VO_{2Fatmax}$  y  $VO_{2max}$ , lo que fue testado estadísticamente mediante un Anova de 1 factor (IC 95%) (Tabla I).

La peculiaridad de que la muestra estuviera iniciando un periodo de instrucción militar, permitió que la actividad diaria y los hábitos alimenticios fueran similares en todos los grupos. Los alimentos del menú y el tiempo para las comidas fue limitado, la comida servida (no autoservicio), no siendo posible repetir ración. El GC sólo realizó las actividades propias de la instrucción. Adicionalmente a estas actividades, cada grupo experimental ejecutó el programa de entrenamiento asignado.

### Procedimiento

Todos los participantes acudieron al laboratorio de Fisiología de la Universidad de las Américas (Concepción, Chile) en dos días consecutivos, antes y después del periodo de entrenamiento. En cada ocasión, en la primera visita se determinaron las variables antropométricas y ejecutaron el test de esfuerzo para la estimación del  $VO_{2max}$  y los umbrales ventilatorios. En la segunda visita, realizaron el test calorimetría indirecta para la obtención de la tasa de oxidación de sustrato y la Fatmax.

### Medidas antropométricas

Los sujetos fueron pesados en una báscula electrónica (Tanita TBF 300A, Tokio, Japón) con precisión de 100 g. La talla se midió con un tallímetro portátil (Seca 213, Hamburgo, Alemania), con precisión de 1 mm. Ambas medidas se emplearon para la determinación del índice de masa corporal (IMC) según la ecuación de Quetelet ( $kg/m^2$ ).

### Prueba máxima y determinación de Umbrales

El test de esfuerzo para determinar el  $VO_{2max}$  se realizó en tapiz rodante (VIASYS™ LE 250 CE, Alema-

**Tabla I**  
Características de la población (n=97)

	$CC_{VT1}$ (n=23)	$IT_{VT2}$ (n=24)	$IT_{VO2max}$ (n=25)	$G_c$ (n=25)	Valor-p
Edad (años)	$18,43 \pm 0,86$	$18,92 \pm 0,97$	$18,64 \pm 1,30$	$18,63 \pm 1,01$	0,222
IMC ( $kg/m^2$ )	$23,20 \pm 3,48$	$23,55 \pm 2,60$	$23,54 \pm 2,43$	$22,56 \pm 1,42$	0,218
$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	$53,36 \pm 8,10$	$54,28 \pm 6,73$	$54,69 \pm 6,14$	$56,21 \pm 5,60$	0,486
$VO_{2Fatmax}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	$35,57 \pm 7,89$	$31,73 \pm 3,40$	$30,82 \pm 3,01$	$31,34 \pm 4,01$	0,084

Datos expresados como media  $\pm$  SD; IMC = índice de masa corporal;  $VO_{2max}$  = Consumo máximo de oxígeno.  $VO_{2Fatmax}$  = Consumo de Oxígeno donde se alcanza la máxima tasa de oxidación de grasas;  $CC_{VT1}$ =Grupo Experimental que entrena a intensidad del VT1.  $IT_{VT2}$ =Grupo Experimental que entrena a intensidad del VT2.  $IT_{VO2max}$ =Grupo Experimental que entrena a intensidad del  $VO_{2max}$ . GC= Grupo Control. Valor-p= significación estadística (IC95%)

nia). Tras un calentamiento estandarizado de 5 min, los participantes comenzaron con una velocidad de carrera 8 Km·h<sup>-1</sup> que incrementó en 1 Km·h<sup>-1</sup> cada minuto hasta llegar al agotamiento. Se empleó una pendiente fija del 3%. Como indicadores de maximalidad se siguieron los criterios de Jones et al. (1985)<sup>23</sup>. Durante todo el test, los sujetos permanecieron conectados a un analizador de gases con registro *breath by breath* (Jaeger®, Master Screen CPX, Alemania), calibrado antes de cada prueba conforme a las instrucciones del fabricante. Durante los test se controló el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), el volumen de dióxido de carbono espirado (VCO<sub>2</sub>), la ventilación (VE), los equivalentes ventilatorios (VE/VO<sub>2</sub> y VE/VCO<sub>2</sub>) y las presiones telespiratorias para el oxígeno (O<sub>2</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los Umbrales Ventilatorios (VT1 y VT2), se estimaron siguiendo el procedimiento de Davis (1985)<sup>24</sup>. La monitorización de la frecuencia cardíaca (FC) se realizó por telemetría, latido a latido, mediante un cardiotacómetro (Polar®, Finlandia) adosado al ergoespirómetro. La máxima intensidad de ejercicio, como la correspondiente a las zonas de transición metabólica (VT1 y VT2), se expresaron como VO<sub>2</sub> (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) y % VO<sub>2max</sub>.

#### Calorimetría Indirecta

Para determinar la tasa de oxidación de sustrato, en días consecutivos a la prueba de VO<sub>2max</sub>, los sujetos ejecutaron un test de calorimetría indirecta de circuito abierto. En condiciones de ayuno de 6 h, los participantes iniciaron un test submáximo, continuo y de carga incremental en tapiz rodante ajustado a las recomendaciones de propuestas por Achten<sup>12</sup>. Previo a la evaluación, se realizó un calentamiento de 10 min de ejercicio aeróbico de baja intensidad (< 40% VO<sub>2max</sub>). La carga inicial correspondió a la velocidad más próxima al 40% del VO<sub>2max</sub> del test previo, que incrementó en 1 Km·h<sup>-1</sup> cada 3 min hasta alcanzar un cociente respiratorio igual a 1. La pendiente se mantuvo fija al 3%. Durante el test se mantuvo un control de los gases espirados por el mismo procedimiento explicado con anterioridad. La oxidación de sustrato se estimó de manera continua mediante las ecuaciones estequiométricas de Frayn (1983)<sup>25</sup>:

$$\text{Oxidación de grasas (g·día}^{-1}\text{)} = [(1,67 \cdot \text{VO}_2) - (1,67 \cdot \text{VCO}_2) - (1,92 \cdot \text{N})]$$

Donde

VCO<sub>2</sub> = volumen de dióxido de carbono espirado en l·min<sup>-1</sup>

VO<sub>2</sub> = volumen de oxígeno consumido en l·min<sup>-1</sup>

N = tasa de excreción de nitrógeno. Hemos asumido que esta tasa es constante e igual a 135 μg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> y que el aporte de proteínas al gasto energético es reducido.

Para determinar la intensidad vinculada a la Fatmáx se analizaron los cambios en la FO durante la prueba

submáxima, expresándose la intensidad a la que se localizaba la Fatmax como VO<sub>2</sub> (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) y % VO<sub>2max</sub>.

#### Programa de ejercicio físico

Cada grupo experimental ejecutó el entrenamiento asignado durante 8 semanas consecutivas a razón de 3 veces/semana, sumando un total de 24 sesiones de entrenamiento. El grupo CC<sub>VT1</sub>, realizó una carrera continua extensiva con un volumen de 5 Km/sesión que incrementó a 6 Km/sesión a partir de la cuarta semana. La intensidad de carrera correspondió a la velocidad y FC vinculados al VT1. El IT<sub>VT2</sub>, ejecutó un entrenamiento de resistencia por intervalos, consistente en 5x1000m/sesión con recuperaciones de 3 min entre series. A partir de la cuarta semana se incrementó a 6x1000m/sesión. La intensidad de carrera correspondió a la velocidad y FC vinculados al VT2. Finalmente, el IT<sub>VO2max</sub>, ejecutó un entrenamiento de resistencia por intervalos de tipo intensivo consistente en 10x500m/sesión con recuperaciones intermedias de 5 min. A partir de la cuarta semana se incrementó a 12x500m/sesión. La intensidad de carrera correspondió a la velocidad y FC vinculados al VO<sub>2max</sub>. En todos los casos la velocidad de carrera fue monitorizada por fotocélulas, señales de distancia y un dispositivo GPS (Polar RX 800 CX Finlandia) distribuidos a lo largo de todo el circuito de entrenamiento.

El Grupo de Control (GC) no realizó ninguna actividad adicional a las del periodo de instrucción militar, comunes a todos los grupos. Se evitaron los ejercicios vigorosos al menos 24 h antes de las evaluaciones.

#### Análisis Estadísticos

Los datos son expresados como media y desviación estándar (SD). El análisis de distribución de frecuencias se realizó mediante el test de Shapiro-Wilk. El efecto del entrenamiento sobre las variables de rendimiento, tasa máxima de oxidación de grasas y Fatmax en cada uno de los grupos experimentales fue estimado mediante un test de comparación de medias para datos pareados (pre vs post), o el test de Wilcoxon en aquellas variables que mostraron una distribución no normal. La comparación inter-grupos se determinó mediante el ANOVA de un factor de las diferencias (post-pre) de las variables incluidas en el análisis. En caso de ANOVA significativo, el post hoc de Bonferroni fue aplicado. Para las variables no normales se usó el test de Kruskal-Wallis. El test de Tuckey sirvió para las comparaciones por pares en el caso de test significativo. En este último caso, los intervalos de confianza se estimaron a partir del procedimiento de Hodges-Lehman. El paquete estadístico de SPSS 20.0 fue empleado para este análisis. Se mantuvo un intervalo de confianza del 95%.

## Resultados

Todos los sujetos incluidos en el análisis de los resultados completaron el periodo de entrenamiento y las evaluaciones conforme a las especificaciones.

La Tabla II refleja el resultado de la comparación pre-post de las variables de rendimiento máximo ( $VO_{2max}$ ) y submáximo (Umbrales ventilatorios y  $\%VO_{2max}$  en VT1 y VT2) de cada grupo de estudio. La comparación intragrupo mostró que el periodo de entrenamiento mejoró el VT1 en  $CCV_{VT1}$  y el VT2 en  $IT_{VO2max}$  ( $p < 0,05$ ). El  $VO_{2max}$  reflejó un incremento significativo en  $CC_{VT1}$ , cuando era expresado en valores relativos al peso corporal. Ningún grupo experimental mejoró el  $VO_{2max}$  en  $l \cdot min^{-1}$  tras 8 semanas de entrenamiento, observándose una reducción de un 4,25% en

el GC, junto a un descenso del VT1 ( $p < 0,05$ ). Los 4 grupos de estudio mostraron una reducción del peso corporal (-4,02 %;  $p < 0,01$ ) al final del periodo de evaluación, sin que se observaran diferencias entre los grupos por el tipo de entrenamiento, ni tampoco con el GC ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, estos cambios de peso llegaron a afectar al resultado del  $VO_{2max}$  cuando era expresado en relación a esta variable. El análisis de comparación intergrupos de las diferencias (post-pre) de las variables de entrenamiento analizadas no muestra cambios por el empleo de un tipo de entrenamiento sobre otro o respecto al grupo control ( $p > 0,05$ ). [Insertar Tabla II].

El efecto del entrenamiento sobre las variables de MFO y la Fatmax expresada como  $VO_2$  y  $\% VO_{2max}$  para cada grupo de estudio se muestra en la Tabla III.

**Tabla II**  
Efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en los grupos de estudio

	Pre Test	Post Test	IC 95%		Valor-p	
			L.inf	L.sup		
CC <sub>VT1</sub>	$VO_{2max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ )	3,70 ± 0,43	3,75 ± 0,39	-0,15	0,60	0,382
	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	53,36 ± 7,31	56,45 ± 4,35	-5,01	-1,16	0,003
	VT1 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	32,79 ± 6,80	36,49 ± 3,65	-6,70	-0,61	0,021
	VT1 ( $\% VO_{2max}$ )	61,50 ± 9,42	64,91 ± 7,35	-0,93	8,16	0,128
	VT2 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	45,13 ± 7,64	45,81 ± 4,05	2,24	-0,48	0,633
	VT2 ( $\% VO_{2max}$ )	84,51 ± 7,64	81,27 ± 5,97	-0,70	7,17	0,102
IT <sub>VT2</sub>	$VO_{2max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ )	3,77 ± 0,42	3,74 ± 0,43	-0,12	0,18	0,692
	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	54,28 ± 6,73	57,01 ± 4,20	-1,15	5,45	0,162
	VT1 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	34,32 ± 4,31	34,81 ± 3,96	-1,00	2,15	0,446
	VT1 ( $\% VO_{2max}$ )	63,82 ± 8,66	61,19 ± 7,32	-6,51	3,20	0,475
	VT2 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	44,65 ± 4,71	46,44 ± 5,01	0,26	-1,80	0,085
	VT2 ( $\% VO_{2max}$ )	82,78 ± 7,82	81,36 ± 6,15	-5,54	4,95	0,075
IT <sub>VO2max</sub>	$VO_{2max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ )	3,77 ± 0,39	3,71 ± 0,47	-0,07	0,19	0,365
	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	54,69 ± 6,14	55,46 ± 4,95	-3,09	1,55	0,500
	VTI ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	33,07 ± 3,42	33,64 ± 3,49	0,99	-0,74	0,465
	VT1 ( $\% VO_{2max}$ )	60,96 ± 7,38	60,88 ± 6,10	-3,05	3,21	0,959
	VT2 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	42,44 ± 5,32	45,01 ± 4,85	-0,37	-2,42	0,023
	VT2 ( $\% VO_{2max}$ )	77,80 ± 6,99	81,35 ± 7,35	-7,49	0,39	0,075
GC	$VO_{2max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ )	3,73 ± 0,38	3,61 ± 0,42	0,61	0,26	0,003
	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	56,21 ± 5,61	55,56 ± 4,95	-3,09	1,20	0,397
	VTI ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	34,79 ± 3,56	32,80 ± 2,62	0,42	3,56	0,015
	VT1 ( $\% VO_{2max}$ )	62,17 ± 6,21	59,19 ± 4,02	0,50	5,45	0,020
	VT2 ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	44,81 ± 5,57	45,20 ± 4,34	-2,96	2,18	0,759
	VT2 ( $\% VO_{2max}$ )	79,84 ± 7,45	81,48 ± 6,06	-5,36	2,08	0,372

Datos expresados como *media* ± *SD*; IC= intervalo de confianza; p = significación estadística; L.inf= límite inferior; L.sup.= límite superior;  $VO_{2max}$  = Consumo máximo de oxígeno; VT1= Umbral Ventilatorio 1;  $\% VO_{2max}$  = Porcentaje del  $VO_{2max}$ ; VT2 = Umbral Ventilatorio 2. Valor p = significación estadística (IC95%).

**Tabla III**  
Efectos del entrenamiento sobre la MFO y Fatmax

		Pre-test	Post-test	IC 95%		Valor- p
				L.inf	L.sup	
MFO (g·kg <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	CC <sub>VT1</sub>	18,94 ± 7,33	22,41 ± 6,23	1,44	5,86	0,004
	IT <sub>VT2</sub>	17,92 ± 3,93	21,22 ± 4,09	5,52	8,91	0,004
	IT <sub>VO2max</sub>	19,43 ± 2,66	22,68 ± 3,14	-4,74	-1,51	0,001
	G <sub>C</sub>	19,21 ± 3,91	21,22 ± 4,11	-4,10	0,08	0,058
Fatmax (%VO <sub>2max</sub> )	CC <sub>VT1</sub>	66,96 ± 13,92	54,26 ± 8,06	-19,15	-6,37	0,001
	IT <sub>VT2</sub>	58,93 ± 7,19	52,07 ± 7,19	2,07	11,64	0,007
	IT <sub>VO2max</sub>	56,70 ± 6,58	50,88 ± 7,53	1,97	9,69	0,005
	GC	55,96 ± 7,05	55,57 ± 7,02	-3,82	2,85	0,737
Fatmax (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	CC <sub>VT1</sub>	35,55 ± 7,89	30,56 ± 4,60	1,58	8,42	0,006
	IT <sub>VT2</sub>	31,73 ± 3,92	29,69 ± 4,50	-4,31	0,15	0,084
	IT <sub>VO2max</sub>	30,82 ± 3,40	28,16 ± 4,40	0,302	5,01	0,029
	GC	31,34 ± 4,00	30,78 ± 3,98	-2,75	2,54	0,696

Datos expresados como *media* ± SD; p = significación estadística; % Cambio = Diferencias porcentuales entre en pre Test vs pos Test; MFO = Máxima tasa de oxidación de grasas; Fatmax = Intensidad del ejercicio donde se alcanza la máxima tasa de oxidación de grasas expresada con un % VO<sub>2max</sub> y en términos relativos (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>).

El análisis comparativo de los tipos de entrenamiento entre sí y su comparación con el GC se presenta en la Figura 1. Cuando los resultados se expresaron como un porcentaje de cambio, los 3 grupos experimentales reflejaron un incremento significativo en la MFO y un descenso en la Fatmax pre-post entrenamiento (p<0,05). El GC no llegó a alcanzar cambios de interés en la comparación pre-post en ninguna de las variables. El tipo de entrenamiento ejecutado no afectó a la magnitud del cambio de la MFO ni de la Fatmax. Sólo el grupo CC<sub>VT1</sub> reflejó un descenso significativo de la Fatmax superior al del GC (p<0.05).

La Figura 2, muestra la localización de la Fatmax en relación con el VT1 en los grupos experimentales (n=72). La Fatmax no difirió de la localización del VT1 antes del entrenamiento, pero se redujo significativamente tras las 8 semanas de intervención (p<0,001; IC: 5,54 a 11,19), mientras que el VT1 permaneció sin cambios de interés (p=0,872, IC:-2,49 a 2,11).

## Discusión

Los principales hallazgos de este estudio sugieren que 8 semanas de entrenamiento de resistencia incrementan la MFO y reducen la Fatmax, con independencia de la intensidad del ejercicio. Los resultados obtenidos muestran que, a diferencia del GC, con los tres tipos de entrenamiento analizados (CC<sub>VT1</sub>; IT<sub>VT2</sub> e IT<sub>VO2max</sub>), se logra disminuir la intensidad de ejercicio a la que se alcanza la máxima tasa de oxidación de grasas, localizada en todos los casos a intensidades <VT1. Aunque la proporción de cambio en la MFO

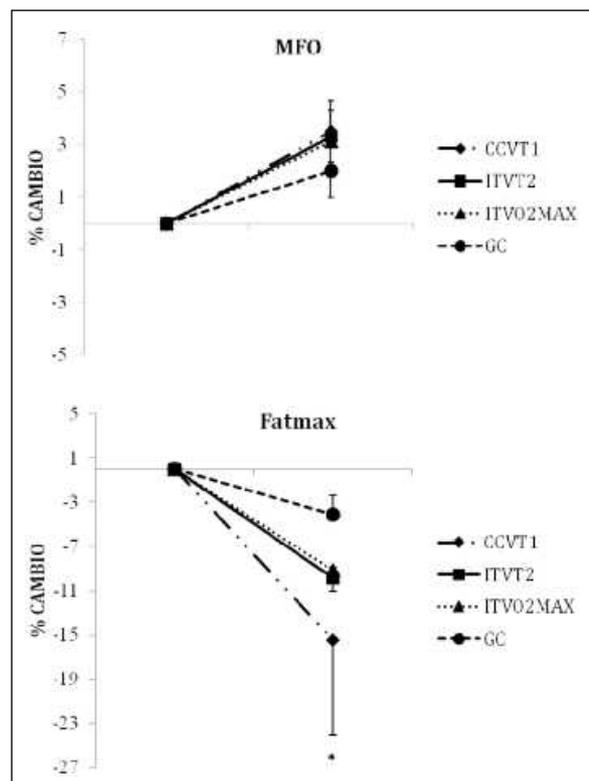


Fig. 1.—Análisis comparativo del tipo de entrenamiento sobre la máxima tasa de oxidación de grasas (MFO) y la intensidad a la que se localiza (Fatmax). Efecto sobre el control. % cambio = cambio en el post test respecto al pre test y expresado en tanto por ciento; CC<sub>VT1</sub> = entrenamiento continuo en VT1; IT<sub>VT2</sub> = entrenamiento por intervalos en VT2; IT<sub>VO2max</sub> = entrenamiento por intervalos al VO<sub>2max</sub>; GC = grupo control. \* = diferencia CVT1 con GC, p<0.05.

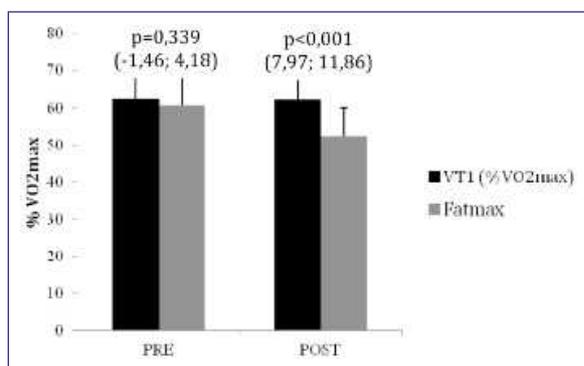


Fig. 2.—Comparación de la localización de la Fatmax respecto a VT1 antes y después del periodo de entrenamiento. La muestra empleada corresponde sólo a los grupos experimentales.  $p$  = significación estadística; (IC al 95%).

es similar entre los diferentes tipos de entrenamientos realizados, la magnitud del cambio de la intensidad relativa a la que se localiza la Fatmax es mayor en  $CC_{VT1}$  respecto al GC y al resto de los grupos. Por tanto, aunque el entrenamiento de resistencia en general parece mejorar el perfil de oxidación de las grasas, la intensidad a la que se alcanza la máxima oxidación de grasas parece ser más sensible al entrenamiento de carrera continua extensiva en VT1 ( $CC_{VT1}$ ), que a los de tipo interválico de mayor intensidad ( $IT_{VT2}$  o  $IT_{VO_{2max}}$ ).

El estudio de la cinética de la tasa de FO con el ejercicio físico es un tópico tratado con frecuencia por la literatura científica<sup>26-28</sup>. La FO se incrementa conforme lo hace la intensidad de ejercicio, alcanzando su máxima tasa de oxidación a intensidades promedio cercanas al 60-65% del  $VO_{2max}$ , aunque con gran variabilidad interindividual<sup>29</sup>. Los resultados obtenidos en este estudio muestran una Fatmax localizada entre el  $53,54 \pm 8,9$  y el  $59,34 \pm 9,9$  % del  $VO_{2max}$ . Al igual que en los casos mencionados, ha sido observada una gran variabilidad en la población de estudio en ambas fases de la intervención (entre el 37 y el 86,9% del  $VO_{2max}$  en el pre y entre el 31% y el 76,2% del  $VO_{2max}$  en el post), con un  $VO_{2max}$  de partida de  $54,9 \pm 6,9$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Estos resultados coinciden con los observados por Schwindling et al.(2013)<sup>28</sup>, quienes detectaron la Fatmax al  $55 \pm 14$  % del  $VO_{2max}$  en sujetos entrenados con un  $VO_{2max}$  de entre 50 y 60  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Esta localización no cambió significativamente cuando la compararon con la de una población más entrenada ( $>60$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ; Fatmax  $64 \pm 12$  %  $VO_{2max}$ ), debido a la gran dispersión que presentó el valor de la variable respecto a la media observada. Los factores que determinan esta variabilidad intersujetos no son bien conocidos, siendo el nivel de entrenamiento<sup>30</sup>, dieta<sup>8</sup>, edad<sup>11</sup>, sexo<sup>20</sup>, eficacia de la función oxidativa muscular y el tipo de fibra muscular dominante<sup>6,31</sup>, factores que podrían explicar este resultado. El diseño empleado y el tipo de población estudiada ha permitido controlar la ma-

yoría de estas variables: hábitos de vida y dieta (los sujetos testados estaban en periodo de instrucción y permanecieron dentro de la base militar accediendo al mismo menú, ración y horario de comida), todos eran varones y no registraron diferencias en términos de edad ( $p=0,486$ ),  $VO_{2max}$  ( $p=0,304$ ) y Fatmax ( $p=0,084$ ) al comienzo de la intervención. Sin embargo, la Fatmax continuó manteniendo un comportamiento variable e individual en los resultados, por lo que el tipo de fibra dominante y/o el metabolismo oxidativo, podrían constituirse como los factores de más influencia en esta respuesta. No obstante, el control del resto de los factores previamente enunciados, tales como la homogeneidad entre los grupos de estudio y el empleo de un GC en el diseño, permite reflejar en gran medida el efecto del tipo de entrenamiento y de las distintas intensidades ejercitadas sobre la oxidación de grasas.

Conforme con la literatura, los resultados obtenidos no arrojan diferencias entre los cambios registrados en la MFO por el entrenamiento continuo o interválico<sup>16,32</sup>. Estos hallazgos coinciden en parte con los de Alkahtani et al.(2013)<sup>13</sup>, quienes tampoco observaron en su estudio cambios de interés en esta variable entre dos tipos entrenamiento interválico de diferente intensidad ( $IT_{VT2}$  vs  $IT_{VO_{2max}}$ ) ( $p>0,05$ ). Siguiendo el clásico modelo trifásico de Skinner y Mclelan(1980)<sup>33</sup>, el aumento de la intensidad de ejercicio conlleva un incremento en la producción de lactato (reducción del pH muscular) y un cambio en el patrón ventilatorio que reduce la oxidación de grasas. Los estudios que han analizado la relación entre la transición metabólica en ejercicio y los cambios en la oxidación de sustratos, tanto en sujetos sedentarios como entrenados, han reflejado que la Fatmax podría alcanzarse a intensidades por debajo o cercanas al umbral del lactado<sup>34</sup> o al VT1<sup>22</sup>. En este estudio la Fatmax no mostró diferencias respecto a la localización del VT1 en el pre (Tabla II y Figura 2), mientras que se redujo de media un 13,78% en los 3 grupos experimentales por efecto del entrenamiento. Estos cambios se alcanzaron a pesar de no lograr resultados de interés en la condición física de la muestra ( $VO_{2max}$ ), e independientemente a la reducción del peso corporal. Sin embargo, el análisis de la magnitud del cambio reflejado en la Figura 1, indica claramente que a pesar de la tendencia a la reducción de la Fatmax por el entrenamiento, es el de tipo extensivo en VT1 ( $CC_{VT1}$ ) el que mejores resultados refleja en cuanto a la modificación del de la tasa de MFO.

Existe una relación de factores limitantes del estudio que deben ser tenidos en cuenta en la aplicación de las conclusiones obtenidas. El hecho de que la muestra de estudio estuviera compuesta exclusivamente por militares varones en periodo de instrucción, por un lado permite un gran control de la muestra, en especial de los hábitos diarios, pero a la vez restringe su extrapolación a otras poblaciones (como

por ejemplo mujeres<sup>20</sup> o deportistas confirmados<sup>30</sup>). Aunque la distribución de los grupos fue al azar y se mostraron homogéneos en las variables de control, el azar no garantiza una distribución homogénea de las variables no controladas (tipo de fibra muscular predominante o función oxidativa muscular) con influencia en la Fatmax<sup>6,31</sup>. Finalmente, el acceso a la comida fue el mismo para todos los sujetos en términos de horario, frecuencia y cantidad. La dieta suministrada era equilibrada, pero no se controló que los sujetos consumieran todo el alimento dispensado cada vez, por lo que la ingesta nutricional y calórica podía variar de un sujeto a otro. Sin embargo, dado el régimen de acuartelamiento y que todos los alimentos eran suministrados por la marina, no era frecuente que los sujetos dejaran alimentos sin ingerir de la ración que se les proporcionaba.

## Conclusión

Por lo tanto, sobre la base de los resultados obtenidos en las condiciones de este estudio, podemos concluir que 8 semanas de entrenamiento a diferentes intensidades vinculadas a las zonas de transición metabólica incrementan la MFO y reducen la Fatmax. Los cambios proporcionados por los diferentes tipos de entrenamiento son similares, aunque la intensidad a la que se alcanza la máxima oxidación de grasas parece ser más sensible al entrenamiento de carrera continua extensiva en VT1 (CC<sub>VT1</sub>), que al interválico de intensidades superiores. La variabilidad interindividual en respuesta al ejercicio físico y los cambios en la cinética de oxidación de grasas en los sujetos estudiados, confirman la necesidad de basar los programas de ejercicio físico en criterios individuales de prescripción, sobre todo cuando su objetivo sea el de aumentar el metabolismo graso.

## Agradecimientos

Agradecemos el interés y participación de la Escuela de Grumetes Alejandro Navarrete Cisterna, de la Armada de Chile y a su director, como también la de todos los sujetos que han participado en el estudio.

## Referencias

1. Bonfanti N, Fernández JM, Gomez-Delgado F, Pérez-Jiménez F. Efecto de dos dietas hipocalóricas y su combinación con ejercicio físico sobre la tasa metabólica basal y la composición corporal. *Nutr Hosp* 2014;29: 635-643.
2. Thompson D, Karpe F, Lafontan M, Frayn K. Physical Activity and Exercise in the Regulation of Human Adipose Tissue Physiology. *Physiol Rev* 2012 JAN; 92:157-191.
3. Malin SK, Viskochil R, Oliver C, Braun B. Mild fasting hyperglycemia shifts fuel reliance toward fat during exercise in adults with impaired glucose tolerance. *J Appl Physiol* 2013; 115:78-83.

4. de Oliveira C, Iwanaga-Carvalho C, Mota JF, Oyama LM, Ribeiro EB, Oiler do Nascimento CM. Effects of adrenal hormones on the expression of adiponectin and adiponectin receptors in adipose tissue, muscle and liver. *Steroids* 2011; 76:1260-1267.
5. Heinonen I, Wendelin-Saarenhovi M, Kaskinoro K, Knuuti J, Scheinin M, Kalliokoski KK. Inhibition of alpha-adrenergic tone disturbs the distribution of blood flow in the exercising human limb. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2013; 305:H163-172.
6. Talanian JL, Holloway GP, Snook LA, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL. Exercise training increases sarcolemmal and mitochondrial fatty acid transport proteins in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2010; 299:E180-188.
7. Jeppesen J, Kiens B. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise. *J Physiol* 2012; 590:1059-1068.
8. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380-391.
9. Jeukendrup A, Achten J. Fatmax : A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *Eur J Sport Sci* 2001;1:1-5.
10. Takagi S, Sakamoto S, Midorikawa T, Konishi M, Katsamura T. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation in short-time testing. *J Sports Sci* 2013; 32:175-182.
11. Crisp NA, Fournier PA, Licari MK, Braham R, Guelfi KJ. Adding sprints to continuous exercise at the intensity that maximises fat oxidation: Implications for acute energy balance and enjoyment. *Metab Clin Exp* 2012;61:1280-1288.
12. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metab Clin Exp* 2003; 52:747-752.
13. Alkahtani SA, King NA, Hills AP, Byrne NM. Effect of interval training intensity on fat oxidation, blood lactate and the rate of perceived exertion in obese men. *SpringerPlus* 2013; 2:532.
14. Hottenrott K, Ludyga S, Schulze S. Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *J Sports Sci Med* 2012;11:483-488.
15. Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metab Clin Exp* 2010;59:1421-1428.
16. Astorino TA, Schubert MM, Palumbo E, Stirling D, McMillan DW. Effect of two doses of interval training on maximal fat oxidation in sedentary women. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45:1878-1886.
17. Venables MC, Jeukendrup AE. Endurance training and obesity: effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40:495-502.
18. Pottenger JA, Kirk EP, Jacobsen DJ, Donnelly JE. Changes in resting metabolic rate and substrate oxidation after 16 months of exercise training in overweight adults. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008;18:79-95.
19. Lazzar S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Agosti F, Sartorio A. Effects of low- and high-intensity exercise training on body composition and substrate metabolism in obese adolescents. *J Endocrinol Invest* 2011;34:45-52.
20. Manning K, Rupp J, Benardot D, Brandon LJ, Doyle JA. Effects Of Exercise Training On Fat Oxidation In Untrained Overweight And Obese Females. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44:234-234.
21. Rynders CA, Angadi SS, Weltman NY, Gaesser GA, Weltman A. Oxygen uptake and ratings of perceived exertion at the lactate threshold and maximal fat oxidation rate in untrained adults. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2063-2068.
22. Gmada N, Marzouki H, Haj Sassi R, Tabka Z, Shephard R, Brun J, Bouhlel E. Relative and absolute reliability of the crossover and maximum fat oxidation points and their relationship to ventilatory threshold. *Science & Sports* 2013; 28:e99-e105.

23. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 1985 May;131(5):700-708.
24. Davis JA. Anaerobic Threshold - Review of the Concept and Directions for Future-Research. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17:6-18.
25. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1983 Aug;55(2):628-634.
26. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 2002 JAN 2002;34(1):92-97.
27. Meyer T, Gassler N, Kindermann W. Determination of "Fatmax" with 1 h cycling protocols of constant load. *Appl Physiol Nutr Metab* 2007; 32:249-256.
28. Schwindling S, Scharhag-Rosenberger F, Kindermann W, Meyer T. Limited Benefit of Fatmax-Test to Derive Training Prescriptions. *Int J Sports Med* 2013; DOI: 10.1055/s-0033-1349106.
29. Achten J, Wallis GA, Shaw C, Tamopolsky MA, Greeves JP, Casey A, et al. Differences in substrate utilisation between men and women disappear after a period of intensified training. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:S21-S21.
30. Song Wei, Hu Baiping. Experimental study on relationship among Fatmax, aerobic endurance and RPE. *J Shaanxi Normal Univ Nat Sci* 2013;41:104-108.
31. Jeukendrup AE. Regulation of fat metabolism in skeletal muscle. *Ann N Y Acad Sci* 2002;967:217-235.
32. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, MacDonald MJ, McGee SL, Gibala, M. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 2008; 586:151-160.
33. Skinner JS, Mclellan TH. The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism. *Res Q Exerc Sport* 1980;5:234-248.
34. Achten J, Jeukendrup AE. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *Int J Sports Med* 2004; 25:32-37.