PubliCE, (PubliCE) 2010

Monograph

Relación entre la Oxidación de Grasas y el Umbral de Lactato en Atletas y en Hombres y Mujeres con Obesidad

Stefan Bircher[1,2] y Beat Knechtle[1,3]

RESUMEN

El primer objetivo de este estudio fue determinar la intensidad de ejercicio que provoca la mayor tasa de oxidación de grasas en sujetos sedentarios y obesos (OB; n = 10 hombres, n = 10 mujeres) en comparación con atletas de resistencia (AT; n = 10 hombres, n = 10 mujeres). El segundo objetivo fue investigar la relación entre el VO_2 a la intensidad que provoca la mayor tasa de oxidación de grasas y el correspondiente VO2 al umbral de lactato. El consumo pico de oxígeno (VO_2 pico) fue determinado en 20 AT y 20 OB utilizando un protocolo de ejercicio progresivo en cicloergómetro. En base a sus valores de VO_2 pico, los sujetos completaron un protocolo que requirió que estos se ejercitaran durante 20 minutos con tres diferentes cargas de trabajo (55, 65 y 75% del VO_2 pico), las cuales se llevaron a cabo aleatoriamente en dos ocasiones separadas. Las tasas de oxidación de grasas y carbohidratos fueron medidas mediante calorimetría indirecta. Las mayores tasas de oxidación se observaron al 75% del VO_2 pico (AT) y al 65% del VO_2 pico (OB). La tasa de oxidación de grasas fue significativamente mayor en los sujetos del grupo AT (18.2 ± 6.1) en comparación con las mujeres OB (10.6 ± 4.5 kJ/min/kg) ($p<0.01$). No se observaron diferencias significativas en la tasa de oxidación de grasas para los hombres (AT 19.7 ± 8.1 vs OB 17.6 ± 8.2 kJ/min/kg). Los sujetos del grupo AT alcanzaron el LT a una intensidad de ejercicio significativamente mayor ($p<0.01$), expresada como porcentaje del VO_2 pico, que los sujetos obesos (AT mujeres 76.4 ± 0.1, hombres 77.3 ± 0.1 vs. OB mujeres, 49.7 ± 0.1, hombres 49.5 ± 0.1 % VO_2 pico). Se halló una correlación significativa entre el VO_2 al LT y el VO_2 (L/min) que provocó la máxima tasa de oxidación de grasas en los atletas (mujeres; $r = 0.67$; $p = 0.03$; hombres: $r = 0.75$; $p = 0.01$), pero no en los sujetos obesos. En resumen, observamos mayores tasas de oxidación de grasas a una mayor carga relativa en los sujetos del grupo AT en comparación con los sujetos del grupo OB. Se halló una correlación significativa entre el LT y la intensidad de ejercicio que provocó la mayor tasa de oxidación de grasas en el grupo AT ($r = 0.89$, $p<0.01$) pero no el en grupo OB. La aptitud cardiorrespiratoria, definida como el VO_2 pico, parece ser importante para definir la relación entre la mayor tasa de oxidación de grasas y el LT

Palabras Clave: intensidad de ejercicio, utilización de sustratos, obesidad, umbral de lactato

INTRODUCCION

La capacidad para movilizar y utilizar grasas como combustible es importante para una variedad de poblaciones. Para los atletas de resistencia la fuerte relación entre la capacidad para oxidar ácidos grasos y el rendimiento durante el ejercicio

es de gran interés (Holloszy and Coyle, 1984; Jansson and Kaijser, 1987). Para los sujetos con sobrepeso y obesidad, el incremento en la tasa de oxidación de grasas puede ser beneficiosa con el propósito de la reducción del peso corporal (Jeukendrup and Achten, 2001). Los ejercicios llevados a cabo a la intensidad que provoca la máxima tasa de oxidación de grasas son por lo tanto de gran utilidad para tratar y prevenir la obesidad y el síndrome metabólico y para incrementar la capacidad para oxidar grasas en los atletas de resistencia.

Se sabe que el entrenamiento de la resistencia incrementa la tasa de oxidación de grasa durante el ejercicio submáximo a una determinada carga de trabajo (Hurley et al., 1986; Martin et al., 1993; Phillips et al., 1996). Dériaz y colaboradores (2001) en humanos y Weber y colaboradores (1993) en animales, reportaron una correlación positiva entre la potencia aeróbica máxima (VO_2máx) y la mayor tasa de oxidación de grasas. Estos hallazgos sugieren que la capacidad para oxidar ácidos grasos está relacionada con altos niveles de aptitud cardiorrespiratoria. Además, los resultados obtenidos en estudios donde se ha utilizado la técnica de biopsia muscular tanto en ratas (Wolfe et al., 1990) como en humanos (Kiens et al., 1993) indican que el incremento inducido por el entrenamiento en las proteínas transportadoras de ácidos grasos libres (FFA) y en la densidad mitocondrial, mejoran la capacidad para oxidar FFA. Existe evidencia de que los atletas entrenados en resistencia son capaces de oxidar más grasa a una intensidad dada de ejercicio en comparación con sujetos desentrenados.

En personas entrenadas en resistencia, la tasa de oxidación de grasas se incrementa cuando la intensidad del ejercicio se incrementa de baja a moderada (Romjin et al., 1993) y se reduce a intensidades de ejercicio de aproximadamente el 80-85% del VO_2máx (Astorino, 2000). En recientes estudios se ha mostrado que la intensidad asociada con la mayor tasa de oxidación de grasas es entre el 55 y el 75% del VO_2máx (Romijn et al., 1993; Astorino, 2000; Romijn et al., 2000; Van Loon et al., 2001; Achten et al., 2002; Knechtle et al., 2004). Este amplio rango de intensidades de ejercicio puede ser consecuencia de los diferentes protocolos de investigación, de los sujetos que participaron o del tipo de ejercicio utilizado.

La mayor tasa de oxidación de grasas en sujetos sedentarios y obesos no ha sido documentada con precisión. Cierta evidencia indica que los sujetos obesos pueden tener una desmejorada capacidad para oxidar grasas (Kim et al., 2000; Pérez-Martin et al., 2001) en comparación con los individuos entrenados. Sin embargo, Steffan et al (1999) compararon las tasas de oxidación de mujeres obesas y mujeres con peso normal con similares valores de VO_2máx (mL/kg LBM/min) y no hallaron diferencias en la utilización de sustratos entre los grupos. Asimismo, Ranneries et al (1998) no hallaron diferencias en la tasa de oxidación de grasas entre mujeres previamente obesas y mujeres con peso normal que se ejercitaron al 50% del VO_2máx. Por lo tanto, parece que es el nivel de aptitud cardiorrespiratoria (definido como el VO_2máx) y no la composición corporal, el factor que influencia la tasa de oxidación de grasas.

La intensidad submáxima de entrenamiento recomendada en general se da como un porcentaje de consumo máximo de oxígeno (% VO_2máx) o de la frecuencia cardíaca (% HRmáx). En atletas (Meyer et al., 1999; Weltman et al., 1999) y en sujetos obesos (Byrne and Hills, 2002) la proporción de la capacidad cardiorrespiratoria pico o máxima se corresponde con amplios rangos de intensidad de ejercicio definido por el umbral de lactato individual (LT). Además, Achten et al (2002) hallaron una gran variabilidad inter-sujeto respecto de la intensidad de ejercicio que corresponde a la máxima tasa de oxidación de grasas expresada como %VO_2máx o como %HRmáx. Consecuentemente, dependiendo de la intensidad de ejercicio expresada como un porcentaje específico del VO_2máx o de la HRmáx, algunos individuos pueden estar ejercitándose por debajo y otros por encima de la intensidad que provoca la mayor tasa de oxidación de grasas. Por lo tanto, la determinación de la intensidad de ejercicio asociada con la máxima tasa de oxidación de grasas asegurará una prescripción del ejercicio más objetiva y efectiva (Jeukendrup and Achten, 2001).

Un marcador muy conocido y bien establecido de la intensidad de ejercicio submáximo es el LT (Casaburi et al., 1995). El entrenamiento a una intensidad próxima al LT parece correlacionar con altas tasas de oxidación de grasas en los atletas. Recientemente Knechtle et al (2004) hallaron en atletas entrenados en resistencia una alta correlación entre la mayor tasa de oxidación de grasas y el LT durante el ejercicio de ciclismo pero no durante el ejercicio de pedestrismo. Atchen y Jeukendrup (2004) hallaron una correlación significativa entre la intensidad a la cual la concentración de lactato se incrementaba por encima del valor basal y la tasa máxima de oxidación de grasas en atletas entrenados en resistencia. Sin embargo, ningún estudio previo ha investigado la relación entre la mayor tasa de oxidación de grasas y el LT en sujetos obesos. Debido al hecho de que los estudios realizados para determinar la relación entre la oxidación de grasas y el LT solo se han llevado a cabo con atletas, nosotros decidimos incluir un grupo de atletas altamente entrenados como grupo de control para nuestros sujetos obesos con el propósito de comparar nuestros resultados con los de la literatura.

Por lo tanto, el objetivo principal del presente estudio fue determinar la intensidad de ejercicio asociada con la mayor tasa de oxidación de grasas en sujetos sedentarios y obesos. Un objetivo secundario del estudio fue comparar el VO_2 al LT con el VO_2 (L/min) a la intensidad de ejercicio que provocara la máxima tasa de oxidación de grasas tanto en atletas como en sujetos obesos, utilizando el mismo protocolo de ejercicio.

METODOS

Sujetos

En el presente estudio participaron veinte atletas entrenados en resistencia (AT; 10 mujeres y 10 hombres) y veinte sujetos sedentarios y obesos (OB; 10 mujeres y 10 hombres). Los atletas fueron reclutados mediante avisos colocados en la revista nacional de deportes, mientras que los sujetos obesos fueron reclutados mediante la utilización de volantes y avisos colocados en el boletín de noticias de la Fundación Sueca contra la Obesidad. Todos los atletas eran triatletas activos (6 mujeres, 7 hombres) o ciclistas (4 mujeres, 3 hombres) que competían a nivel nacional e internacional con antecedentes de entrenamiento de al menos cinco años. Todos los sujetos obesos eran sedentarios, definiéndose esta condición como la realización de ejercicios menos de una vez por semana en los 6 meses previos al estudio. La obesidad fue definida como un índice de masa corporal (BMI) mayor o igual a 30 kg/m^2.

Previamente a la realización de los procedimientos de evaluación, tanto los sujetos entrenados como los sedentarios completaron un cuestionario referente a su historial médico y de entrenamiento. Ninguno de los sujetos estaba siguiendo una dieta hipocalórica, o utilizando medicamentos que afectaran el metabolismo. Aquellos con desórdenes metabólicos y/o endocrinos fueron excluidos del estudio, y esto se llevó a cabo midiendo los niveles plasmáticos de reposo de lipoproteínas y lípidos (triacilglicéridos, colesterol total, colesterol HDL) y de glucosa e insulina. Los siguientes criterios fueron utilizados para la exclusión: a) colesterol total > 5.7 mml/L, b) triacilglicéridos > 2.0 mmol/L, c) glucosa > 6.1 mmL/L. Luego del análisis de los cuestionarios y de las muestras sanguíneas de reposo, cinco sujetos obesos fueron excluidos. De los 42 atletas que respondieron a los avisos, se seleccionaron a aquellos 20 que se encontraban en el rango de edad más próximo al de los sujetos OB. Antes tomar parte en las evaluaciones, todos los participantes dieron su consentimiento por escrito, luego de que fueran informados acerca de los procedimientos experimentales y de los posibles riesgos y beneficios. Todos los procedimientos fueron aprobados por el comité de ética local.

Test de Ejercicio Máximo

Inicialmente se midió la talla y el peso corporal y se calculó el BMI (kg/m^2). El porcentaje de grasa corporal (BF%) fue determinado mediante la utilización de la ecuación de Deurenberg (1991). Para determinar el VO_2pico, los sujetos realizaron un test progresivo de ejercicio en un cicloergómetro (ergoline 900®, ergoline, Bitz, Germany). Las mujeres fueron evaluadas sin tener en cuenta su ciclo menstrual. Los sujetos obesos comenzaron el test con una carga de 40W, mientras que los atletas comenzaron el test con una carga de 100W. La carga se incremento en 30W a intervalos de 3 minutos hasta la finalización del test. Durante el ejercicio, se midió en forma continua el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) (Oxycon Pro, Jaeger, Würzburg, Germany). Los analizadores de gases fueron calibrados antes de cada test. La frecuencia cardíaca fue registrada continuamente mediante un electrocardiograma. Al final de cada etapa de 3 minutos, se obtuvieron muestras de sangre del lóbulo de la oreja en tubos capilares de 20 µL para la determinación de la concentración de lactato mediante el método enzimático (Super GL ambulance, Ruhrtal Labor Technik, Möhnesee, Germany). Antes de cada medición de lactato, el analizado fue calibrado con una solución estándar de lactato con una concentración de 10 mmol/L.

Determinación del Umbral de Lactato (LT)

El LT fue determinado durante la realización de los tests de ejercicio máximo. De acuerdo con Coyle et al (1983), el LT fue definido como el VO_2 al cual el lactato se incrementaba 1 mmol/L por sobre el valor de reposo, ya que esto pudo ser determinado objetivamente en todos los sujetos.

Protocolo de Ejercicio Submáximo

Los sujetos completaron los protocolos de ejercicio submáximo, que requerían que se ejercitaran con cargas de trabajo del 55, 65 y 75% del VO_2pico, y esto se llevó a cabo en orden aleatorio en dos días separados (realizando un protocolo o dos protocolos por día). Se les aconsejó a los voluntarios que siguieran con sus dietas normales, que evitaran la realización de ejercicios vigorosos el día previo a los tests y que se abstuvieran de consumir alimentos en las 10 horas previas a la realización de los tests de ejercicio submáximo. Cada etapa de ejercicio submáximo duró 20 minutos y las etapas estuvieron separadas por al menos 15 minutos de recuperación pasiva. El consumo de oxígeno (VO_2) fue medido en forma continua a través de los 20 min de ejercicio. La carga de trabajo fue ajustada durante los primeros cinco minutos hasta alcanzar el porcentaje de VO_2 previamente establecido. La frecuencia cardíaca fue medida continuamente (Polar M52®, Kempele, Finland). Al comienzo y al final de cada etapa, se midió la concentración de lactato en sangre. Para asegurar que el intercambio de gases fuera estable al comienzo del ejercicio y que los sujetos se hubieran recuperado de la etapa previa de ejercicio, estos descansaron hasta que su RER se mantuviera alrededor de 0.80 y que la concentración de lactato alcanzara los valores de reposo.

Antes del estudio se evaluó la reproducibilidad de las etapas de ejercicio submáximo. Cinco mujeres y hombres voluntarios (edad: 24.3 ± 2 años, BMI: 23.6 ±1.2 kg/m^2) realizaron el test de ejercicio máximo y los protocolos de ejercicio submáximo dos veces en una misma semana. El VO_2 al LT y las respuestas ventilatorias a las tres intensidades de ejercicio (VO_2 y VCO_2) no difirieron entre los dos tests (prueba t de Student). Los coeficientes de variación (CV) para el RER durante cada una de las intensidades evaluadas fueron 2.6, 2.3 y 3.9%, respectivamente. La confiabilidad del LT fue evaluada mediante el CV para el VO_2 al LT. Se halló que el CV fue de 2.9%.

Cálculos Utilizados en la Calorimetría Indirecta

Para calcular las tasas de oxidación de grasas y carbohidratos se utilizaron las mediciones del VO_2 y VCO_2 tomadas en los últimos cinco minutos de ejercicio en cada intensidad (55, 65 y 75% del VO_2pico). La oxidación de grasas y carbohidratos y el gasto energético fueron calculado utilizando las ecuaciones estequiométricas de Frayn (1983), las cuales definen la oxidación de carbohidratos (g/min) como 4.55 × VCO_2 – 3.21 × VO_2 – 2.87 n y la oxidación de grasas (g/min) como 1.67 x VO_2 - 1.67 x VCO_2 - 1.92 n. Se asumió que la tasa de excreción de nitrógeno (n) era de 135 µg/kg/min de acuerdo con lo establecido por Carraro et al (1990). El gasto energético calculado a partir de la oxidación de grasas y carbohidratos fue convertido a kJ/min multiplicando la tasa de oxidación de grasas por 37 y la tasa de oxidación de carbohidratos por 16, utilizando el factor general de conversión de Atwater (19099). El VO_2pico fue expresado por kg de peso corporal y por kg de masa magra corporal (LBM). Las tasas de oxidación de grasas y carbohidratos fueron expresadas en kJ/min por kg de masa corporal (Figuras 1 y 2).

Análisis Estadísticos

Todos los datos obtenidos durante los tests de ejercicio máximo fueron reducidos medias grupales. Las comparaciones entre los grupos de atletas y sujetos sedentarios y obsesos en mediciones simples (edad, BMI, LBM, VO_2pico, LT expresado como % del VO_2pico, HRmáx y RERmáx) fueron llevadas a cabo utilizando la prueba t de Student para muestras independientes. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas, para detectar diferencias estadísticamente significativas entre las intensidades respecto de cada variable metabólica (tasa de oxidación de carbohidratos por kg de peso corporal, tasa de oxidación de grasas por kg de peso corporal, porcentaje de oxidación de grasas en relación al gasto energético total y gasto energético total/consumo energético total).

Variables	Mujeres		Hombres	
	Atletas (n = 10)	Obesas (n = 10)	Atletas (n = 10)	Obesos (n = 10)
Edad (años)	34.3 (9.60)	33.5 (7.71)	34.6 ± 7.82	34.2 ± 8.99
Talla (m)	1.68 (.03)	1.65 (.05)	1.78 ± 0.04	1.78 ± 0.05
Peso (kg)	58.6 (4.48)	94.7 ± 11.47*	71.85 ± 5.75	112.3 ± 33.61*
BMI (kg·m^{-2})	20.9 (1.8)	34.7 ± 4.6*	22.7 ± 1.3	35.4 ± 8.6*
LBM (kg)	48.4 (3.4)	47.4 ± 2.4	61.6 ± 4.3	65.6 ± 6.7
Grasa Corporal (%)	17.4 (1.3)	49.4 ± 5.8*	14.3 ± 1.0	39.7 ± 8.9*

Tabla 1. *Datos antropométricos de los sujetos. Los datos son medias (± DE). *Diferencia significativa entre las mujeres entrenadas en resistencia y las mujeres obesas y entre los hombres entrenados en resistencia y los hombres obesos (p<0.05). BMI = Índice de Masa Corporal, LBM = Masa Magra Corporal*

La fortaleza de la relación entre el VO_2 al umbral de lactato y el VO_2 que provocó la máxima tasa de oxidación de grasas fue valorada utilizando el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson. Todos los cálculos fueron realizados con el programa SYSTAT (SYSTAT, Inc., Evanston, Illinoi). Se estableció la significancia estadística a p<0.0.5.

RESULTADOS

Características de los Sujetos y Test de VO_2pico

Los datos antropométricos de los sujetos y las medidas fisiológicas obtenidas durante el test de VO_2pico se muestran en las

Tablas 1 y 2 respectivamente. El grupo AT mostró una masa corporal significativamente menor ($p<0.01$) y un menor BMI ($p<0.01$) en comparación con el grupo OB. Los valores del VO_2pico expresados en relación a la masa corporal y expresados en kg de masa magra corporal fueron significativamente mayores en los atletas que en los sujetos obesos ($p<0.01$).

Gasto Energético

El gasto energético se incrementó con el incremento en la intensidad de ejercicio tanto en el grupo AT como en el grupo OB ($p<0.01$) y se observaron diferencias significativas entre los grupos AT y OB en ambos sexos ($p<0.01$) (Figuras 1 y 2). El gasto energético absoluto (kJ/min) a una intensidad definida fue significativamente mayor en los hombres que en las mujeres ($p<0.01$). El gasto energético total expresado por kg de masa magra corporal no mostró diferencias significativas entre los sexos en ambos grupos. Las tasas relativas de oxidación de grasas, expresadas como un porcentaje de la oxidación total de energía, no fueron significativamente diferentes entre las tres intensidades evaluadas (55, 65 y 75% del VO_2pico) ni entre los sexos (mujeres: 36.2 ± 15.2, 35.5 ± 12.9, 31.4 ± 12.3%; hombres: 32.3 ± 14.5, 34.5 ± 15.3, 27.8 ± 11.1%). Al 55% del VO_2pico las mujeres del grupo AT alcanzaron un mayor porcentaje de oxidación de grasas, en relación al gasto energético total al 75% del VO_2pico (rango 24-38%) que las mujeres obesas ($p = 0.02$) mientras que entre los hombres no se observaron diferencias significativas (AT, 28.6 ± 11.8 %; OB, 26.9 ± 11.9%).

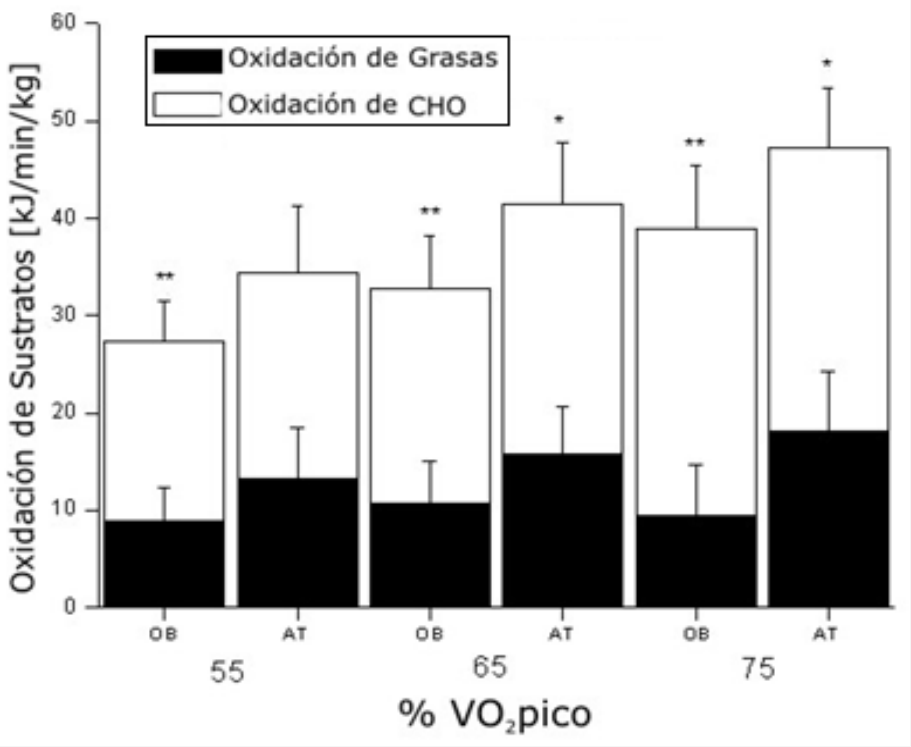

Figura 1. *Medias y desviaciones estándar de la oxidación de sustratos a diferentes intensidades de ejercicio (% VO_2pico) durante la realización de ejercicios submáximos en mujeres obesas (OB, n = 10) y en mujeres atletas (AT; n = 10). Diferencia significativa entre la oxidación de grasas y carbohidratos (*p<0.05, **p<0.005),*

Oxidación de Sustratos

Dentro de las intensidades evaluadas, el grupo AT (hombres y mujeres) mostró su mayor tasa de oxidación de grasas a la intensidad del 75% del VO_2pico, mientras que los sujetos sedentarios y obesos alcanzaron la máxima tasa de oxidación de sustratos al 65% del VO_2pico. Las mujeres atletas mostraron una tasa absoluta de oxidación de grasas (kJ/min) significativamente mayor ($p<0.01$) que las mujeres obesas. Asimismo, la tasa de oxidación de grasas normalizada, expresada en kg de masa corporal (kJ/min/kg) fue también significativamente mayor en las mujeres del grupo AT que en las mujeres del grupo OB (Figura 1).

Variables	Mujeres		Hombres	
	Atletas (n = 10)	Obesos (n = 10)	Atletas (n = 10)	Obesos (n = 10)
VO_2pico (ml/kg/min)	53.14 (5.21)*	25.94 (3.80)	61.29 (4.82)*	32.88 (5.42)
VO_2pico (ml/kg LBM/min)	64.30 (6.10)*	53.57 (9.48)	71.44 (5.53)*	50.36 (9.64)
Wmáx (Watt)	253 (30)*	178 (29)	355 (35)*	246 (40)
HRmáx (latidos/min)	175 (7)	174 (11)	170 (7)	170 (15)
Lactato máx (mmol/L)	8.27 (1.61)	7.85 (1.63)	9.48 (2.36)*	7.27 (2.05)

Tabla 2. *Mediciones fisiológicas obtenidas durante el test de VO_2pico. Los datos son medias (± DE). *Diferencia significativa entre las mujres entrenadas en resistencia y las mujeres obesas y entre los hombres entrenados en resistencia y los hombres obesos (p<0.05)*

No se hallaron diferencias significativas entre los hombres de ambos grupos respecto de la utilización de grasas tanto absoluta como normalizada a la intensidad de ejercicio que provocó la mayor tasa de oxidación de grasas (AT: 19.72 ± 8.05 kJ/min/kg al 75% VO_2pico; OB: 17.57 ± 8.24 kJ/min/kg al 65% VO_2pico). La utilización de carbohidratos por kg de masa corporal se incrementó tanto en los atletas como en los sujetos obesos con el incremento de la carga (Figuras 1 y 2). Entre los hombres, los sujetos del grupo AT tuvieron una tasa absoluta y normalizada de oxidación de carbohidratos significativamente mayor (p<0.01) que los sujetos del grupo OB (Figura 2). Las mujeres de los grupos AT y OB no mostraron diferencias significativas respecto de la utilización absoluta y normalizada de carbohidratos (Figura 1).

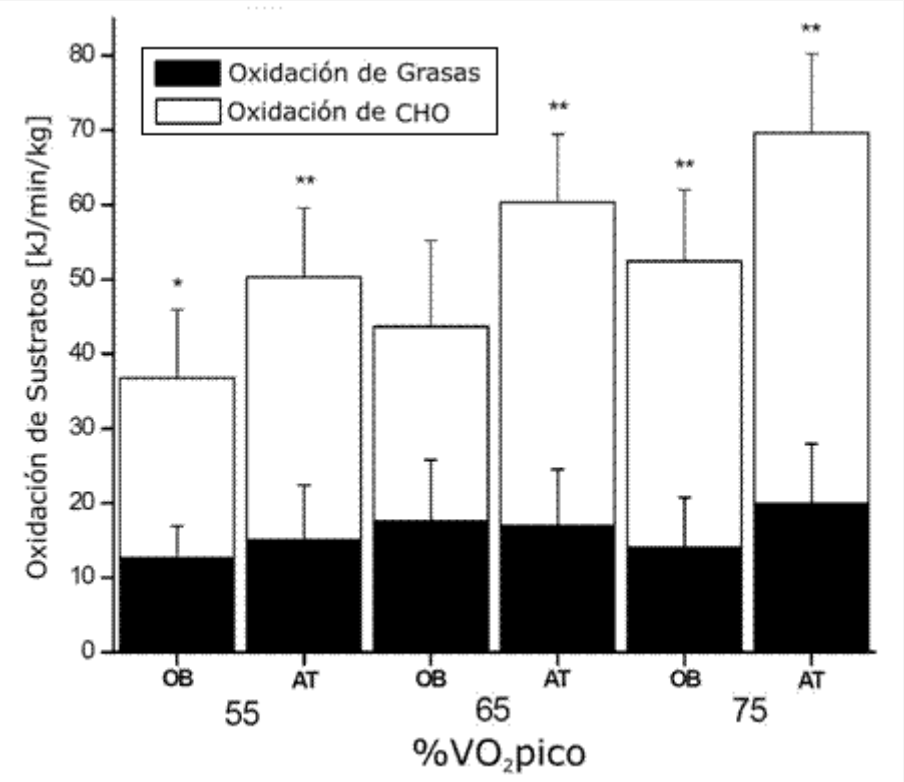

Figura 2. *Medias y desviaciones estándar de la oxidación de sustratos a diferentes intensidades de ejercicio (% VO_2pico) durante la realización de ejercicios submáximos en hombres obesos (OB, n = 10) y en hombres atletas (AT; n = 10). Diferencia significativa entre la oxidación de grasas y carbohidratos (*p<0.05, **p<0.005),*

Umbral de Lactato (LT)

Las mujeres y los hombres del grupo AT alcanzaron el LT a una intensidad significativamente mayor expresada como %Wmáx (p<0.01) y como %VO_2pico (p<0.01) que los hombres y mujeres con obesidad (Figura 3). Expresado como %Wmáx,

el LT se produjo a aproximadamente el 35% de la Wmáx en el grupo OB y fue similar en hombres y mujeres. Las mujeres y los hombres del grupo AT exhibieron su LT a aproximadamente el 74 y 77% del VO_2pico respectivamente. Se observó una correlación modesta entre el VO_2 al LT y el VO_2 (L/min) a la tasa de trabajo que provocó la máxima tasa de oxidación de grasas en el grupo OB (mujeres: r = 0.43, ns; hombres: = 0.32, ns). En contraste, para el grupo AT hubo una fuerte correlación entre el VO_2 al LT y el VO_2 (L/min) a la carga de trabajo que provocó la mayor tasa de oxidación de grasas (mujeres: r = 0.67, p<0.05; hombres = 0.75, p = 0.01).

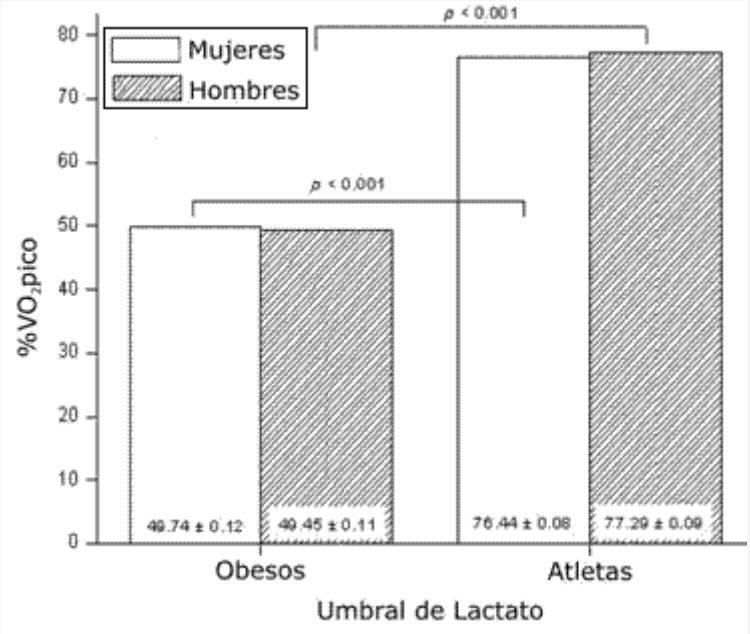

Figura 3. *Umbral de lactato expresado como un porcentaje (%) del VO_2pico en mujeres obesas y entrenadas en resistencia (barras blancas) y hombres obesos y entrenados en la resistencia (barras a rayas)*

DISCUSION

Nuestro principal objetivo fue determinar la intensidad que provocaría la mayor tasa de oxidación de grasas en mujeres y hombres sedentarios y obesos en comparación con atletas, utilizando el mismo protocolo de ejercicio. Dentro de las tres intensidades evaluadas (55, 65 y 75% del VO_2pico) hallamos que la mayor tasa de oxidación de grasas se produjo al 75% VO_2pico en el grupo AT y al 65% VO_2pico en el grupo OB. Por lo tanto, los sujetos obesos alcanzaron la tasa máxima de oxidación de grasas, mientras que en los atletas todavía sería posible un pequeño incremento en la oxidación de grasas por encima del 75% del VO_2pico. La intensidad a la que se produjo la mayor tasa de oxidación de grasas en el grupo OB es mayor que la reportada en estudios previos, la cual ronda el 42% del VO_2pico (Dériaz et al., 2001) y el 30.5% de la Wmáx (Pérez-Martin et al., 2001). Sin embargo, la comparación directa de la mayor tasa de oxidación de grasas con otros estudios es difícil debido a las diferencias en la metodología y en los protocolos de ejercicio.

Oxidación de Sustratos entre Atletas y Obesos

Las mujeres y los hombres del grupo AT alcanzaron la mayor tasa de oxidación de grasas a una mayor intensidad de ejercicio que la mujeres y hombres del grupo OB. Esto no es sorprendente debido a que se sabe que el entrenamiento de la resistencia incrementa la tasa de oxidación de grasas a una carga submáxima de trabajo luego del entrenamiento (Hurley et al., 1986; Martin et al., 1993; Phillips et al., 1996) y que la capacidad para oxidar grasas a mayores intensidades depende del nivel de aptitud cardiorrespiratoria (Knechtle et al., 2004). Klein et al (1994) hallaron que los sujetos entrenados que se ejercitaron a la misma intensidad relativa (70% VO_2pico) que los sujetos desentrenados, exhibían una tasa dos veces mayores de lipólisis corporal total, medida como la tasa de aparición de glicerol en plasma. Nosotros hallamos que la tasa de oxidación de grasas por kg de peso corporal (al 75% VO_2pico) fue dos veces mayor en las mujeres del grupo AT que en las mujeres del grupo OB (Figura 1). Además, el grupo AT mostró, entre la menor y la mayor

intensidad de ejercicio, un incremento similar en las tasas de oxidación de grasas y carbohidratos, mientras que en las mujeres y hombres con obesidad observamos un incremento en la tasa de oxidación de carbohidratos y una reducción en la oxidación de grasas entre el 65 y el 75% del VO_2pico (Figura 1 y Figura 2). Por lo tanto, los sujetos del grupo OB mostraron una menor tasa de oxidación de grasas con la mayor carga y una mayor dependencia en la oxidación de carbohidratos en comparación con el grupo AT. La comparación del metabolismo entre los sujetos de los grupos AT y OB en el presente estudio debe tratarse con precaución debido a los diferentes niveles de aptitud cardiorrespiratoria y de composición corporal de los dos grupos. Sin embargo, Ezell et al (1999) compararon sujetos luego de la pérdida de peso con sujetos obesos y no obsesos de similares niveles de aptitud física, y no hallaron diferencias en la tasa de oxidación de grasas durante 60 min de ejercicio al 60-65% del VO_2máx. Asimismo, Steffan et al (1999) y Ranneries et al (1998) no observaron diferencias en las tasas de oxidación de sustratos entre sujetos con diferente masa y composición corporal. Consecuentemente, no es la composición corporal sino los diferentes niveles de aptitud cardiorrespiratoria lo que parece influenciar el metabolismo de los sustratos.

Relación entre la Mayor Tasa de Oxidación de Grasas y el Umbral de Lactato

El segundo objetivo de nuestro estudio fue comparar el VO_2 al LT con el VO_2 (L/min) a la intensidad que produjo la máxima tasa de oxidación de grasas. Achten y Jeukendrup (2004) observaron una modesta correlación ($r = 0.65$, $p<0.01$) entre el VO_2 (mL/min) a la intensidad que produjo la máxima tasa de oxidación de grasas (63% del VO_2máx) y la intensidad a la cual el lactato comenzó a acumularse en el plasma (61% del VO_2máx). asimismo, Knechtle et al (2004) reportaron una coincidencia entre la intensidad a la cual ocurría el LT (77.6% del VO_2pico) y la mayor tasa de oxidación de grasas (75% del VO_2pico) durante la realización de ejercicio de ciclismo. Tanto Achten y Jeukendrup (2004) como Knechtle et al (2004) estudiaron a atletas entrenados en resistencia. Similarmente, nosotros hallamos en nuestros atletas una correlación significativa entre el VO_2 al LT y el VO_2 a la intensidad que produjo la mayor tasa de oxidación de grasas, pero no observamos la correlación correspondiente entre estos dos parámetros en los sujetos obesos.

Como se indica en la Figura 3, los sujetos del grupo AT alcanzaron el LT a una intensidad de ejercicio, expresada como %VO_2pico, significativamente mayor que los sujetos del grupo OB. Este resultado también ha sido documentado por otros investigadores, quienes hallaron una mayor intensidad de ejercicio al LT en los sujetos entrenados comparado con sujetos desentrenados (Gollnick et al., 1986). A aproximadamente el 50% del VO_2pico, nuestros sujetos obesos alcanzaron el LT a una intensidad ligeramente menor que la intensidad que provocó la mayor tasa de oxidación de grasas (65% del VO_2pico), un hallazgo también observado por Astorino (2000) en mujeres moderadamente entrenadas. En sujetos moderadamente entrenados y en sujetos sedentarios y obesos parece haber un continuo incremento en la oxidación de grasas incluso luego del primer incremento en la concentración de lactato (LT). Por lo tanto, el nivel de aptitud cardiorrespiratoria parece ser importante y pude explicar la débil correlación entre el LT y la mayor tasa de oxidación de grasas en los sujetos sedentarios y obesos en comparación con los atletas de resistencia. Debido al hecho de que el umbral de lactato en los sujetos del grupo OB se produjo a una intensidad menor que en los sujetos del grupo AT, nosotros creemos que la musculatura periférica limita la tasa de oxidación de grasas más que los bajos valores de VO_2pico de los sujetos del grupo OB.

Estos hallazgos tienen consecuencias para la prescripción del entrenamiento. Para maximizar la oxidación de grasas – de acuerdo con el concepto “Fatmax” propuesto por Jeukendrup y Achten (2001) – en los atletas se debería recomendar una intensidad de ejercicio similar al LT. Para sujetos obesos la detección del LT no es suficiente, y se requiere la determinación directa de la intensidad que provoque la mayor tasa de oxidación de grasas utilizando calorimetría indirecta.

CONCLUSIONES

Para resumir, los datos del presente estudio muestran que dentro de las intensidades evaluadas, las mujeres y los hombres atletas tienen su mayor tasa de oxidación de grasas al 75% del VO_2pico, mientras que las mujeres y hombres sedentarios y obesos muestran la mayor tasa de oxidación de grasas al 65% del VO_2pico. En los sujetos obesos, el cambio en la oxidación de grasas a la oxidación de carbohidratos se produce antes en el tiempo y con el incremento en la intensidad en comparación con los atletas. En los atletas se halló una correlación entre el VO_2 al LT y el VO_2 a la mayor tasa de oxidación de grasas, lo cual no se observó en los sujetos obesos. El menor nivel de aptitud física (VO_2) de los sujetos obesos podría explicar la disociación entre la intensidad de ejercicio que provoca la mayor tasa de oxidación de grasas y la intensidad de ejercicio al LT.

Puntos Clave

- Dentro de las intensidades evaluadas, 55, 65 y 75% del VO_2pico, los atletas alcanzaron la mayor tasa de oxidación de grasas a una mayor carga relativa en comparación con los sujetos obesos.
- En las mujeres y los hombres obesos, la intensidad a la cual se produjo la mayor tasa de oxidación de grasas estuvo alrededor del 65% del VO_2pico.
- Entre el umbral de lactato y la intensidad que provoca la mayor tasa de oxidación de grasas, se halló una correlación significativa en los atletas pero no en los sujetos obesos.

Dirección para el envío de correspondencia: Stefan Bircher University of South Australia, Nutrition Physiology, Frome Rd, 5000; SA,Australia

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 (2004). Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *International Journal of Sports Medicine25, 32-37*
3. Astorino, T.A (2000). Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women?. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 40, 209-216*
4. Atwater, W.O (1909). Coefficients of digestibility and availability of the nutrients of food. *Proceedings of the American Physiology Society 30, 14-19*
5. Byrne, N.M. and Hills, A.P (2002). Relationships between HR and VO2 in the obese. *Medicine and Science in Sports and Exercise 34, 1419-1427*
6. Carraro F, Stuart, C.A., Hartl, W.H., Rosenblatt, J. and Wolfe R.R (1995). Effect of exercise and recovery on muscle protein synthesis in human subjects. *American Journal of Physiology 259, E470-E476*
7. Casaburi, R., Storer, T.W., Sullivan, C.S. and Wasserman, K (1995). Evaluation of blood lactate elevation as an intensity criterion for exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise 27, 852-862*
8. Coyle, E.F., Martin, W.H., Ehsani, A.A., Hagberg, J.M., Bloomfield, S.A., Sinacore, D. R. and Holloszy, J. O (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *Journal of Applied Physiology 54, 18-23*
9. Deurenberg, P., Weststrate, J.A. and Seidell, J.C (1991). Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex- specific prediction formulas. *British Journal of Nutrition 65, 105-114*
10. Ezell, D.M., Geiselman, P.J., Anderson, A.M., Dowdy, M.L., Womble, L.G., Greenway, F.L. and Zachwieja, J.J (1999). Substrate oxidation and availability during acute exercise in non-obese, obese, and post-obese sedentary females. *International Journal of Obesity 23,1047-1056*
11. Frayn, K.N (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology 55, 628-634*
12. Gollnick P.D., Bayly, W.M. and Hodgson, D.R (1986). Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Medicine and Science in Sports and Exercise 18, 334-340*
13. Holloszy, J.O. and Coyle, E.F (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology 56, 831-838*
14. Hurley, B.F., Nemeth, P.M., Martin, W.H. 3rd., Hagberg, J.M., Dalsky, G.P. and Holloszy, J.O (1986). Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *Journal of Applied Physiology 60, 562-567*
15. Jansson, E. and Kaijser, L (1987). Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. *Journal of Applied Physiology 62, 999-1005*
16. Jeukendrup, A.E. and Achten, J (2001). Fatmax: A new concept to optimise fat oxidation during exercise?. *European Journal of Sport Science 1, 1-5*
17. Kiens, B., Essen-Gustavson, B., Christensen, N.J. and Saltin, B (1993). Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effects of endurance training. *Journal of Physiology 469, 459-478*
18. Kim, J.Y., Hickner, R.C., Cortright, R.L., Dohm, G.L. and Houmard, J.A (2000). Lipid oxidation is reduced in obese human skeletal muscle. *American Journal of Physiology 279, E1039-E1044*
19. Klein, S., Coyle, E.F. and Wolfe, R.R (1994). Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. *American Journal of Physiology 167, E934-E940*
20. Knechtle, B., Muller, G., Willmann, F., Kotteck, K., Eser, P. and Knecht, H (2004). Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *International Journal of Sports Medicine 25, 38-44*
21. Martin, W.H. 3rd., Dalsky, G.P., Hurley, B.F., Matthews, D.E., Bier, D.M., Hagberg, J.M., Rogers, M.A., King, D.S. and Holloszy, J.O (1993). Effect of endurance training on plasma fatty acid turnover and oxidation during exercise. *American Journal of Physiology 265, E708-E714*
22. Meyer T, Gabriel, H.H. W. and Kindermann, W (1999). Is determination of exercise intensities as percentage of VO2 max or HRmax adequate?. *Medicine and Science in Sports and Exercise 31, 1342-1345*
23. Phillips, S.M., Green, H.J., Tarnopolsky, M.A., Heigenhauser, G.F., Hill, R.E. and Grant, S.M (1996). Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. *Journal of Applied Physiology 81, 2182-2191*

24. Romijn, J.A., Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Gastaldelli, A., Horowitz, J.F., Endert, E. and Wolfe, R.R (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology 265, E380-E391*
25. Romijn, J.A., Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Rosenblatt, J. and Wolfe, R.R (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *Journal of Applied Physiology 88, 1707-1714*
26. Steffan, H.G., Elliott, W., Miller, W.E. and Fernhall, B (1999). Substrate utilization during submaximal exercise in obese and normal-weight women. *European Journal of Applied Physiology 80, 233-329*
27. Van Loon, J.C., Greenhaff, P.L., Constantin-Teodosiu, D., Saris, W.H.M. and Wagenmakers, A.J.M (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *Journal of Physiology 536, 295-304*
28. Weber, J.M., Roberts, T.J. and Taylor, C.R (1993). Mismatch between lipid mobilization and oxidation: Glycerol kinetics in running African goats. *American Journal of Physiology 264, R797-R803*
29. Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Rutt, R. and Rogol, A (1990). Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO2 max for determining endurance training intensity in male runners. *International Journal of Sports Medicine 11, 218-222*
30. Wolfe, R.R., Klein, S., Carraro, F. and Weber, J.M (1990). Role of triglyceride-fatty acid cycle in controlling fat metabolism in humans during and after exercise. *American Journal of Physiology 258, E382-E389*

Cita Original

Stefan Bircher, Beat Knechtle. Relationship Between Fat Oxidation And Lactate Threshold In Athletes And Obese Women And Men. Journal of Sports Science and Medicine (2004) 3, 174 - 181