

Monograph

Algunas Preguntas Fundamentales sobre la Oxidación Lipídica durante el Ejercicio Físico

Rodrigo Ramírez Campillo

Departamento de Ciencias de la Actividad Física, Universidad de los Lagos, Osorno, Chile.

RESUMEN

Los lípidos pueden ser utilizados como combustible durante la realización de esfuerzo físico, aunque su utilización dependería de una serie de factores. La utilización de este sustrato durante el ejercicio podría ser importante desde el punto de vista de la salud y del rendimiento físico. Los lípidos utilizados pueden provenir de fuentes intra o extramusculares, aunque la elección de una u otra fuente podría depender de la intensidad y duración del ejercicio. Las fuentes intramusculares serían utilizadas localmente, pero las extramusculares no. Los lípidos pueden ser utilizados como combustible desde el inicio del ejercicio. Desde el punto de vista práctico, en una misma sesión se puede entrenar con la finalidad de incrementar el rendimiento físico aeróbico, mientras que se utiliza a los lípidos como combustible. Aún se requiere de investigación para dilucidar el impacto de la oxidación lipídica durante el ejercicio sobre el peso y/o composición corporal.

Palabras Clave: metabolismo lipídico, oxidación absoluta de sustratos energéticos, obesidad, ejercicio físico

INTRODUCCION

Muchas preguntas, y en ocasiones mitos, surgen cuando el tema de oxidación lipídica se asocia al de ejercicio físico. En parte porque la investigación en estos campos no es lo suficientemente amplia como para dar respuesta a todas las interrogantes que se presentan en las mentes de los individuos que cotidianamente se someten a sesiones de ejercicio físico, como lamentablemente es muchas veces la costumbre, la creencia surge como *respuesta* primaria, por sobre la evidencia. Preguntas como por ejemplo: ¿se pueden oxidar lípidos durante el ejercicio?, ¿qué factores influyen en la oxidación lipídica durante el ejercicio?, ¿será importante oxidar lípidos durante el ejercicio?, ¿de donde provienen los lípidos que se oxidan?, ¿desde cuando se empiezan a oxidar los lípidos?, ¿es posible favorecer la oxidación de lípidos durante el ejercicio, al mismo tiempo que se promueve un desarrollo del fitness aeróbico?, ¿se debería dar prioridad a la oxidación de lípidos durante el ejercicio o la oxidación absoluta de sustratos energéticos?, serían importantes de responder, pues las respuestas conseguidas (a partir de un punto de vista de la evidencia científica) podrían ayudar bastante a los profesionales relacionados con el área de la actividad física. En la presente revisión cualitativa de literatura se tratará de dar respuesta a estas preguntas.

¿SE PUEDEN OXIDAR LIPIDOS DURANTE EL EJERCICIO?

El ejercicio físico puede alterar la homeostasis (Donoso, H., 1987) y por tanto provocar una respuesta estresora en el organismo humano. La respuesta estresora implica, por un lado, una mayor actividad del sistema nervioso simpático y, por otro, una mayor actividad de las glándulas suprarrenales (Gallardo, P., 2004). La mayor actividad simpática induciría un incremento en la liberación de noradrenalina y la mayor actividad de las glándulas suprarrenales induciría un incremento en la liberación de adrenalina (Saavedra, C., 2001). Estas hormonas, al ser liberadas, viajarán hasta unirse con receptores adrenérgicos a nivel celular (Saavedra, C., 2001). Cuando se unan con estos receptores adrenérgicos, a nivel de adipositos, estimularán la hidrólisis de los triglicéridos almacenados en su interior, mediante la activación de una cascada lipolítica, que involucra receptores β -adrenérgicos, proteína G estimuladora, la enzima adenilil ciclasa, al segundo mensajero AMPc, la proteína quinasa A, la lipasa hormona sensible y a las perilipinas, entre otras (Horowitz, J.F., 2003). La hidrólisis de los triglicéridos (suponiendo que sea completa) implica la liberación de tres moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerol hacia el torrente sanguíneo (Saavedra, C., 2001). Los ácidos grasos liberados se deben unir con albúmina para poder ser transportados en medio acuoso (debido a su baja solubilidad) (Ramírez, R., 2007). Afortunadamente, durante el ejercicio de baja y moderada intensidad, el flujo sanguíneo se encuentra incrementado a nivel de tejido adiposo, lo cual facilitaría la llegada de albúmina a nivel de adipositos, facilitándose de esta manera la movilización de AGL desde estos (Ramírez, R., 2006). Cabe señalar que este incrementado flujo sanguíneo y consiguiente mayor envío de albúmina podría explicar en gran parte la importante disminución de reesterificación observada durante el ejercicio de baja - moderada intensidad, que baja desde un 70% en reposo hasta un 25% durante el ejercicio (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004).

Una vez liberados y unidos a albúmina, los AGL se podrán dirigir hacia las células musculares, en donde podrán ser incorporados a estas (Saavedra, C., 2001). Para hacer ingreso a la célula muscular, los AGL primero deben desligarse de la albúmina, para luego unirse con una proteína transportadora de membrana (Horowitz, J.F., 2003). Existen al menos tres proteínas de membrana conocidas para el transporte de AGL hacia el interior de las células musculares: proteína de membrana plasmática unidora de ácidos grasos, proteína translocadora de ácidos grasos (FAT/CD36) y proteína transportadora de ácidos grasos (Horowitz, J.F., 2003).

Además de los ácidos grasos provenientes del tejido adiposo, la célula muscular puede utilizar sus propias reservas lipídicas. Para esto se requerirá la llegada de catecolaminas (adrenalina y/o noradrenalina) provenientes desde las glándulas suprarrenales y/o sistema nervioso simpático, las cuales se unirán con receptores adrenérgicos a nivel de membrana plasmática, para inducir la transducción de señales que llevarán a la hidrólisis de los depósitos de triglicéridos intramusculares (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004). Alternativamente, los triglicéridos intramusculares pueden sufrir hidrólisis de manera independiente del ambiente hormonal, mediante un proceso calcio-dependiente (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004).

Los ácidos grasos provenientes del tejido adiposo que ingresan al músculo (y los provenientes de los triglicéridos intramusculares) deberán unirse con una proteína citoplasmática unidora de ácidos grasos, la cual se encargará de transportar los ácidos grasos hacia la mitocondria (Ramírez, R., 2006). A nivel de organelo mitocondrial, los ácidos grasos deberán unirse con una enzima que se encuentra en la membrana externa de la mitocondria, la cartinina palmitoil transferasa I (CPT-1), la cual parece ser la enzima limitante del ritmo de ingreso de ácidos grasos de cadena larga hacia la mitocondria (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004). Una vez que los ácidos grasos ingresan a la mitocondria, estos podrían aportar su energía potencial para la síntesis de ATP.

Por tanto, durante el ejercicio físico, se incrementaría la movilización de ácidos grasos desde el tejido adiposo y posiblemente desde el músculo esquelético, incrementándose su disponibilidad como sustrato energético para satisfacer las elevadas demandas energéticas que implica la realización de ejercicio físico.

¿QUE FACTORES INFLUYEN EN LA OXIDACION LIPIDICA DURANTE EL EJERCICIO?

Diversos son los factores que afectan al metabolismo lipídico durante la realización de esfuerzo físico, como por ejemplo: la intensidad de ejercicio, la duración del ejercicio, el tipo de ejercicio y el tamaño de los grupos musculares empleados, la dieta y nivel de glucógeno muscular, el nivel de ácidos grasos plasmáticos, el nivel de lactato en sangre, el sexo del sujeto, la ingesta de comida antes y/o durante el ejercicio, el nivel de entrenamiento que posea el sujeto (referido principalmente al nivel de VO_2 max que presente este), la composición corporal, la fase del ciclo menstrual (en el caso de las mujeres), la composición de fibras musculares lentas y rápidas, el uso de suplementos, la temperatura ambiente, la altura, la herencia

genética, entre otros factores (Jeukendrup, A., 2007). A continuación se profundizará en algunos de estos factores.

Intensidad de Ejercicio

La intensidad del ejercicio parece ser uno de los factores más importantes con respecto a la regulación del metabolismo lipídico durante el ejercicio (Achten, J., et al., 2003; Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2003a; Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2003b; Achten, J., Jeukendrup, A., 2004; Carey, D.G., 2009). Al respecto, Venables, M.C., et al. (2005), realizaron un estudio en donde participaron 157 hombres y 143 mujeres, de 31 años en promedio, un VO_2max de 50 y 41 ml/kg/min (respectivamente), un porcentaje graso del 21,5% y un IMC de 26 kg/m². Este estudio es uno de los más interesantes con respecto al análisis de los factores que influyen sobre la regulación del metabolismo lipídico durante el ejercicio, sobre todo por el elevado número de sujetos que participaron y el elevado espectro de intensidades de esfuerzo físico frente a las cuales se analizó el metabolismo lipídico. Los sujetos fueron sometidos a intensidades de esfuerzo físico correspondientes al 41, 43, 48, 53, 58 y 61% del VO_2max . Los sujetos ejercitaban sobre un tapiz rodante, en donde se incrementaba la velocidad y/o la pendiente cada 3 minutos. Durante el ejercicio se medía el consumo de O_2 y la producción de CO_2 mediante un sistema automatizado de análisis de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Wuerzberg, Alemania). Se pudo observar que a medida que la intensidad del ejercicio se incrementaba, la contribución porcentual de los lípidos (determinada mediante ecuaciones estequiométricas a partir del análisis de gases realizado) al gasto energético total iba disminuyendo, mientras que la contribución de los carbohidratos se iba incrementando. En cuanto a la contribución energética absoluta (Kcal/min) durante el ejercicio, la de los lípidos se incrementó desde el reposo hasta intensidades moderadas de ejercicio, alcanzando su máxima contribución frente al 48% del VO_2max , posteriormente, a medida que la intensidad del ejercicio continuaba incrementándose, la contribución energética absoluta de los lípidos fue disminuyendo. Por otro lado, la contribución energética absoluta de los carbohidratos se fue incrementando a medida que la intensidad del ejercicio se incrementaba. La intensidad frente a la cual la contribución energética absoluta de los lípidos es máxima, es denominada FATmax (Achten, J., et al., 2002). La FATmax se presenta en donde convergen en forma "óptima" el gasto energético total que implica el esfuerzo físico y la contribución relativa de los lípidos a ese gasto energético. Los autores concluyeron que la intensidad del ejercicio sería la variable que más influye sobre el tipo de sustrato utilizado como combustible durante el esfuerzo físico.

Cuando la intensidad del esfuerzo físico va del 60% al 90% del VO_2max , el patrón de utilización de combustibles seguiría la siguiente tendencia: la contribución porcentual y absoluta de los lípidos al gasto energético total disminuiría, mientras que la de los carbohidratos aumentaría (Achten, J., et al., 2002). Cuando la intensidad del ejercicio es muy elevada (p.e., sobre el 90% del VO_2max), usualmente la contribución de los lípidos al metabolismo es mínima (Achten, J., et al., 2002).

Duración del Ejercicio

La duración del esfuerzo físico parece ser otro de los factores que influye sobre el metabolismo lipídico durante el ejercicio. Al respecto, 5 varones bien entrenados (24 años, 75 kg, 1.78 m, 67 ml/kg/min), se sometieron a 2 horas de ejercicio sobre cicloergómetro, frente al 65% de su VO_2max (Romijn, J.A. et al., 1993). Durante el ejercicio se analizaron los volúmenes y concentraciones de gases ventilados (mediante calorimetría indirecta) y a nivel de plasma sanguíneo se obtuvieron muestras de isótopos marcados y concentración de diversos sustratos. Se pudo observar que la contribución lipídica se fue incrementando durante las 2 horas de ejercicio, sobre todo en base a un incremento en el aporte de ácidos grasos plasmáticos. En otro estudio, un grupo de 8 deportistas bien entrenados (30 años, 1.78 m, 75 kg, 63 ml/kg/min) se sometió a 5 horas de ejercicio sobre cicloergómetro, efectuado frente al 58% del VO_2max (Jeukendrup, A.E., et al., 2006). Durante el ejercicio se medía el consumo de O_2 y la producción de CO_2 mediante un sistema automatizado de análisis de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Wuerzberg, Alemania). Se pudo observar que cuando los sujetos ingerían agua durante el ejercicio (sin añadidura de carbohidratos), la contribución lipídica (g/min) al metabolismo energético alcanzaba los 0,68 g/min a los 40 minutos, 0,72 g/min a los 60 minutos, 0,77 g/min a los 80 y este mismo valor se repetía a los 100 minutos. Luego de 2 horas, la oxidación lipídica se incrementaba significativamente con respecto a los valores observados al inicio del esfuerzo físico (0,83 g/min vs. 0,5 g/min, respectivamente). Resultados similares han sido señalados por otros autores (Bassami, M., et al., 2007; Wolfe, R.R., et al., 1990).

Tipo de Ejercicio - Tamaño de los Grupos Musculares Empleados

Un estudio sometió a 8 hombres y 12 mujeres sedentarios a ejercicio sobre cicloergómetro vs. cinta ergométrica (Glass, S.C., et al., 1999). En ambos ergómetros los sujetos ejercitaron frente al 40% de su VO_2pico , intensidad que en ambas modalidades de ejercicio permitía alcanzar la FATmax. Cabe señalar que si bien se alcanzaba la FATmax frente a la misma intensidad relativa de ejercicio, el volumen absoluto de consumo de oxígeno fue 10% superior sobre cinta ergométrica vs. cicloergómetro. En los resultados del estudio se pudo observar que sobre cicloergómetro la contribución energética absoluta de los lípidos alcanzó 2,36 kcal/min, mientras que sobre la cinta ergométrica alcanzó 3,23 kcal/min, es decir, un valor 27% superior. Este resultado se podría explicar por la mayor masa muscular implicada al ejercitar sobre una cinta ergométrica vs. cicloergómetro, lo que a su vez podría explicar que el volumen absoluto de consumo de oxígeno haya sido

10% superior sobre la cinta ergométrica vs. cicloergómetro. Por tanto, si bien en ambas modalidades de ejercicio se logró la FATmax frente al 40% del VO_2 pico, el hecho de que el volumen absoluto de consumo de oxígeno haya sido 10% superior sobre la cinta ergométrica vs. cicloergómetro, podría ayudar a explicar las diferencias en la contribución energética absoluta de los lípidos al metabolismo energético, observada entre las dos modalidades de ejercicio. Estos resultados concuerdan con los de Achten, J., et al. (2003), en donde se pudo observar que la contribución de los lípidos al metabolismo energético fue superior durante el ejercicio sobre cinta ergométrica vs. cicloergómetro, observándose esto frente a un amplio espectro de intensidades de ejercicio. En un acercamiento metodológico interesante, Knechtle, B., et al. (2004) compararon la oxidación lipídica conseguida durante el ejercicio en 8 deportistas con lesión de médula espinal (quienes ejercitaban sobre silla de ruedas, frente al 55, 65 y 75% del VO_2 max.) vs. 8 ciclistas (quienes ejercitaron sobre un cicloergómetro, frente al 55, 65 y 75% del VO_2 max). Los deportistas con lesión de médula espinal presentaron un VO_2 max de 38 ml/kg/min (cifra bastante elevada cuando se la compara con la que presentan sujetos sedentarios, considerando que los primeros solo utilizan sus extremidades superiores durante el ejercicio, es decir que, utilizando los músculos del tren superior logran valores de consumo de oxígeno similares a los de sujetos sedentarios que corren, lo cual dice relación con el elevado nivel de entrenamiento de los deportistas con lesión medular escogidos para este estudio), mientras que los ciclistas presentaban un VO_2 max. de 63 ml/kg/min. Se observó que la oxidación lipídica fue 139% superior durante el ejercicio sobre cicloergómetro vs. ejercicio sobre silla de ruedas (0,67 g/min vs. 0,28 g/min).

Dieta y Nivel de Glucógeno Muscular

Las dietas ricas en grasa (60% consumo calórico diario) incrementarían la utilización lipídica durante el ejercicio. Esto se podría explicar por el hecho de que una dieta rica en grasa provee un relativamente bajo aporte de carbohidratos, lo cual podría ocasionar una disminución de los depósitos de glucógeno muscular, lo que a su vez ocasionaría un incremento en la utilización de lípidos como combustible en este tejido (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004). Alternativamente, una dieta rica en grasa podría inducir una adaptación metabólica a nivel de fibras musculares, como por ejemplo: un incremento de la enzima β -hidroxiacildeshidrogenasa (B-HAD), una enzima muy importante involucrada en el proceso de β -oxidación de los lípidos a nivel mitocondrial; un incremento de la enzima CPT-1 y/o un incremento de la FAT/CD36 (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2004).

Por supuesto, lo señalado anteriormente no debería ser entendido como una metodología destinada a la reducción del peso corporal graso o mejora de la salud. Por el contrario, una dieta rica en grasa generalmente se asocia a un exceso de peso corporal graso y a una salud no óptima (Williams, M., 2007).

Concentración de Ácidos Grasos y Lactato a Nivel Plasmático

Un elevado nivel de ácidos grasos plasmáticos (unidos a albúmina) se relacionaría con un incremento en el ritmo de oxidación lipídica a nivel muscular (Jeukendrup, A., 2007). Alternativamente, una alta concentración de ácidos grasos no unidos a albúmina, a nivel de adiposito, se relacionaría con una mayor reesterificación de estos, lo cual podría ocasionar una disminución en la movilización de ácidos grasos desde el tejido adiposo hacia el torrente sanguíneo y por ende una menor disponibilidad de estos para oxidar a nivel muscular (Ramírez, R., 2007). Este alza en la reesterificación podría observarse frente a ejercicio físico de gran intensidad (p.e., sobre el 85% del VO_2 max), en donde el importante nivel de actividad simpática podría ocasionar una vasoconstricción a nivel de adipositos, reduciendo así la llegada de albúmina (Horowitz, J.F., 2003). Es interesante señalar que frente a estas condiciones de ejercicio, la lipólisis estaría aumentada (reflejado por una gran liberación de glicerol), pero el ritmo de aparición de ácidos grasos en el torrente sanguíneo sería bajo vs. intensidades de ejercicio inferiores (Horowitz, J.F., 2003). Además de disminuir el flujo sanguíneo a nivel de tejido adiposo, el ejercicio de alta intensidad podría ocasionar un aumento del lactato sanguíneo, lo que podría ocasionar una reducción de la movilización de ácidos grasos desde el tejido adiposo, efecto que parece estar mediado más por una elevación de la reesterificación que por un efecto inhibitorio sobre la lipólisis (Jeukendrup, A.E., 2002).

Sexo

Cuando se compara en términos relativos al peso corporal (mg/kg/min), la capacidad de oxidación lipídica durante el ejercicio (frente a un espectro amplio de intensidades) parece ser superior en las mujeres vs. los hombres (Pillard, F., et al., 2007; Venable, M.C., et al., 2003). Se ha especulado que esto podría tener cierta relación con el mayor porcentaje de grasa corporal que presentan las mujeres, aunque las razones definitivas aún no son claras (Cancino, J., 2005).

Ingesta de Alimentos Pre y Durante el Ejercicio

La ingestión de carbohidratos en los minutos previos al ejercicio (p.e., 45 minutos antes), parece disminuir la utilización de lípidos durante este, y también disminuiría la intensidad (% VO_2 max) frente a la cual se logra la FATmax (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2003). La ingestión de carbohidratos durante el ejercicio, también ha demostrado provocar una disminución en la utilización de lípidos durante este. Al respecto, 8 deportistas de endurance aeróbico (30 años, 1.78 m, 75

kg, 63 ml/kg/min) se sometieron a 5 horas de ejercicio sobre cicloergómetro, efectuado frente al 58% del $\text{VO}_2\text{máx}$, bajo dos condiciones experimentales (Jeukendrup, A.E., et al., 2006). Durante el ejercicio se medía el consumo de O_2 y la producción de CO_2 mediante un sistema automatizado de análisis de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Wuerzberg, Alemania). En una de las condiciones experimentales, los sujetos solo ingerían agua durante el ejercicio, en otra, a los sujetos se les suministró una solución con carbohidratos (cada 15 minutos durante las 5 horas de esfuerzo físico). En ambas condiciones la ingesta de fluido fue *ad libitum*. Se observó que bajo la primera condición experimental, los sujetos incrementaban la utilización de lípidos a medida que se incrementaba la duración del ejercicio, mientras que durante la condición experimental en donde los sujetos consumían carbohidratos, la oxidación lipídica fue prácticamente la misma tanto al inicio como al final de las 5 horas de ejercicio. Es decir, ya sea que el esfuerzo haya durado 30, 45, 60 o 300 minutos, la oxidación lipídica fue prácticamente la misma en todo momento.

Nivel de Entrenamiento ($\text{VO}_2\text{máx}$)

El nivel de entrenamiento que posea un sujeto (usualmente referido al nivel de $\text{VO}_2\text{máx}$ que este presente) parece ser un factor importante con respecto al metabolismo lipídico durante el ejercicio. Así, a mayor $\text{VO}_2\text{máx}$, mayor sería la capacidad para oxidar lípidos durante el ejercicio, ya sea en términos absolutos (g/min) o relativos (mg/min/kg) (Achten, J., Jeukendrup, A.E., 2003; Bircher, S., Knechtle, B., 2004; Knechtle, B., et al., 2004). Esto podría explicarse por el hecho de que los sujetos entrenados, frente a su FATmax , logran valores absolutos de gasto energético (kcal/min) superiores vs. sujetos menos entrenados (Bircher, S., Knechtle, B., 2004). Alternativamente, los sujetos entrenados parecen presentar su FATmax frente a un porcentaje superior de su $\text{VO}_2\text{máx}$. vs. sujetos menos entrenados (Bircher, S., Knechtle, B., 2004). Por ejemplo, suponiendo que un sujeto entrenado presente un $\text{VO}_2\text{máx}$ de 4 litros/min y que alcance su FATmax frente al 65% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Achten, J., et al., 2002), mientras que un sujeto menos entrenado presente un $\text{VO}_2\text{máx}$ de 3 litros/min y que alcance su FATmax frente al 48% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Venables, M.C., et al., 2005), y suponiendo que ambos presentan una relación de intercambio respiratorio (RIR) de 0,82 (implica una contribución del 62% de los lípidos al gasto energético total) frente a FATmax , entonces los cálculos estequiométricos señalarían que el sujeto bien entrenado estaría oxidando aproximadamente 0,9 g de lípidos/min, mientras que el sujeto menos entrenado estaría oxidando aproximadamente 0,5 g/min.

Por tanto, el metabolismo lipídico durante el ejercicio parece estar influido por una serie de factores, como la intensidad de ejercicio, duración del ejercicio, tipo de ejercicio, dieta, concentración de ácidos grasos y lactato a nivel plasmático, sexo, ingesta de comida antes y durante el ejercicio, nivel de entrenamiento ($\text{VO}_2\text{máx}$), entre otros. Por supuesto, estos factores no deben ser considerados aisladamente, ya que interaccionarían entre sí. Por ejemplo, si bien un sujeto podría emplear una intensidad de ejercicio coincidente con la FATmax y una duración elevada de esfuerzo físico (> 60 minutos), con la finalidad de maximizar la utilización de los lípidos como combustible, la ingesta de carbohidratos antes y/o durante el ejercicio podría reducir su utilización. Por tanto, aquellos interesados en investigar en esta área, deberían tomar en consideración a estas interacciones.

¿SERA IMPORTANTE OXIDAR LIPIDOS DURANTE EL EJERCICIO?

Desde el punto de vista de la salud, un estudio muy interesante podría ayudar a responder la pregunta. En el estudio participaron 8 sujetos (obesos, sedentarios, 39 años, 99 kg, IMC 32,5 kg/m², 29% grasa, 33 ml/kg/min) (Venables, M.C., Jeukendrup, A.E., 2008). Los sujetos fueron sometidos a dos condiciones experimentales. En una, los sujetos entrenaron durante 4 semanas, con una frecuencia de 5 días/semana, frente a una intensidad equivalente a FATmax . En la otra, los mismos sujetos entrenaron también durante 4 semanas y con una frecuencia de 5 días/semana, pero frente a una intensidad que correspondía a $\pm 20\%$ FATmax . Por tanto, en la primera condición los sujetos realizaban sesiones de entrenamiento en donde se maximizaba la utilización de lípidos, mientras que en la otra condición esto no ocurría. En ambas condiciones el gasto energético por sesión era el mismo. La determinación de la FATmax fue individualizada. Antes y después del periodo de entrenamiento, correspondiente tanto a la primera y segunda condición experimental, los sujetos fueron testeados durante 30 minutos de ejercicio sobre tapiz rodante, frente al 50% del $\text{VO}_2\text{máx}$, para analizar el metabolismo lipídico. El análisis se llevó a cabo mediante calorimetría indirecta, con la ayuda de un equipo automatizado de análisis de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Wuerzberg, Alemania). Además, se estudió la respuesta insulínica de los sujetos frente a una carga oral de glucosa y también la sensibilidad insulínica de estos. Los resultados demostraron que el entrenamiento no provocó modificaciones de la composición corporal o de la condición física (factores que podrían influir sobre el metabolismo lipídico durante el ejercicio). También se observó que durante el ejercicio, los sujetos entrenados frente a FATmax habían incrementado en 44% su capacidad para oxidar lípidos durante el ejercicio, habían incrementado su sensibilidad insulínica en 23% y habían reducido su respuesta insulínica frente a una carga oral de glucosa.

Se ha señalado que, en teoría, los programas de ejercicio que maximicen la utilización de lípidos como combustible durante el ejercicio, podrían ser utilizados como estrategias de prevención y/o tratamiento de enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes mellitus no insulina dependiente, además de que podrían ser utilizados en programas generales de control de peso (Jeukendrup, A.E., Achten, J., 2001).

Desde el punto de vista del rendimiento físico, es interesante señalar que algunos deportistas realizan sesiones de entrenamiento con el objetivo de mejorar su metabolismo lipídico (Jeukendrup, A.E., Achten, J., 2001), ya que una elevada habilidad para oxidar lípidos como combustible se relacionaría estrechamente con el rendimiento físico en algunas disciplinas competitivas (Holloszy, J.O., Coyle, E.F., 1984), como las carreras de fondo y medio fondo, ciclismo de ruta, ski de fondo, etc., lo cual podría explicarse por el hecho de que una incrementada habilidad para utilizar a los lípidos como combustible, implicaría un ahorro importante de glucógeno muscular y por tanto esto podría ayudar a retrasar la aparición de la fatiga (Williams, M., 2007). Por tanto, realizar sesiones de entrenamiento en donde las vías metabólicas involucradas en el metabolismo lipídico estén activadas al máximo, en teoría, podría resultar en óptimas adaptaciones en estas vías (Jeukendrup, A.E., Achten, J., 2001), lo cual podría favorecer a los sujetos que compiten en pruebas que implican una duración superior a los 60 minutos.

¿DE DONDE PROVIENEN LOS LIPIDOS QUE SE OXIDAN?

Los lípidos oxidados a nivel muscular pueden provenir de fuentes intracelulares y/o extracelulares. La fuente intracelular principal corresponde a los triglicéridos intracelulares (Horowitz, J.F., 2003; Romijn, J.A. et al., 1993), aunque los adipositos que se encuentran entre las fibras musculares también podrían ser una fuente relativamente importante de aporte lipídico al metabolismo energético durante el ejercicio (Jeukendrup, A.E., 2002). La fuente extracelular principal estaría representada por los ácidos grasos provenientes desde el tejido adiposo subcutáneo (Romijn, J.A. et al., 1993) y/o intraabdominal (Horowitz, J.F., 2003), aunque el aporte de ácidos grasos desde los triglicéridos y lipoproteínas plasmáticas también podría ser importante (Horowitz, J.F., 2003).

En un estudio (Romijn, J.A. et al., 1993), 5 sujetos entrenados (24 años, 75 kg, 1.78 m, 67 ml/kg/min) se sometieron a 30 minutos de ejercicio físico frente al 25, 65 y 85% de su VO_2 máx, durante los cuales se analizaron los volúmenes y concentraciones de gases ventilados (mediante calorimetría indirecta) y a nivel de plasma sanguíneo se obtuvieron muestras de isótopos marcados y concentración de diversos sustratos, lo cual permitió determinar el comportamiento del metabolismo lipídico (mediante ecuaciones se determinó la contribución lipídica intramuscular). Se pudo observar que frente al 25% de su VO_2 máx, la contribución relativa de lípidos intracelulares era del 10%, mientras que la contribución relativa de los lípidos extracelulares alcanzaba el 90%. Cuando la intensidad era del 50% del VO_2 máx, los sujetos presentaron un incremento en la contribución relativa de los lípidos intracelulares, alcanzando un 50%, mientras que la contribución relativa de los lípidos extracelulares se redujo al 50%. Al 85% del VO_2 máx, la contribución intracelular bajó a un 30% y la extracelular se incrementó a un 70%. Cabe señalar que la FATmax se alcanzó con el 65% del VO_2 máx. Cuando el ejercicio se prolongó hasta los 120 minutos (lo cual ocurrió solo cuando la intensidad del ejercicio era del 25 y 65% del VO_2 máx), la contribución relativa de las fuentes lipídicas intra y extracelulares no se modificó frente al 25% del VO_2 máx, mientras que cuando la intensidad era del 65% del VO_2 máx, la contribución relativa de los lípidos extracelulares se fue incrementando en el tiempo.

En una revisión de literatura que abarcó 89 referencias (publicadas desde 1971 al 2003), Horowitz, J.F. (2003) estimó la contribución relativa de diferentes depósitos grasos al aporte de ácidos grasos para la oxidación durante ejercicio de moderada intensidad (65% VO_2 máx). Cabe señalar que esta estimación está basada en estudios que utilizaron diferentes métodos para la determinación del aporte lipídico al ejercicio, como por ejemplo la calorimetría indirecta, isótopos marcados, biopsias musculares. Además, en los diferentes estudios revisados por Horowitz, J.F. (2003) se utilizaron diversos tipos de modalidades de ejercitación, aunque en su mayoría implicaban el tapiz rodante o el cicloergómetro. Se señaló que el tejido adiposo subcutáneo del tren inferior contribuiría con 4% del total de lípidos oxidados, el tejido adiposo intra-abdominal con un 10%, los triglicéridos plasmáticos con un 11%, los triglicéridos intramusculares con un 25% y el tejido adiposo subcutáneo del tren superior (principalmente abdominal) con un 46%. Esto concuerda con estudios que demuestran una mayor resistencia del tejido adiposo subcutáneo del tren inferior a la reducción frente a un programa de entrenamiento físico vs. tejido adiposo subcutáneo del tren superior (Nindl, B.C., et al., 2000). La revisión de literatura realizada por Horowitz, implicaba estudios en donde los sujetos participantes utilizaban los músculos esqueléticos de las extremidades inferiores durante la realización de ejercicio físico. Así, los datos de su revisión concuerdan con la noción de que la pérdida localizada de tejido adiposo subcutáneo no es posible. Por tanto, los lípidos utilizados intramuscularmente, serían utilizados en aquellos músculos esqueléticos activos, pero el tejido adiposo subcutáneo adyacente a estos músculos activos no se vería impactado de manera prioritaria. Al respecto, un grupo de tenistas competitivos fueron estudiados

(Gwinup, G., et al., 1971). Estos deportistas se caracterizaban por presentar un brazo dominante. Los resultados del estudio demostraron que la masa muscular del antebrazo dominante era superior vs. la masa muscular del antebrazo no dominante, sin embargo, el contenido de tejido adiposo subcutáneo en ambos antebrazos era el mismo. Si bien este estudio apoya la noción de que la pérdida localizada de tejido adiposo subcutáneo no es posible, presenta algunas limitaciones importantes. Por ejemplo, el estudio se basa en la medición del grosor de los pliegues cutáneos del antebrazo para determinar el contenido de tejido adiposo subcutáneo, técnica que podría ser considerada no válida (Kostek, M.A., et al., 2007). Aunque el hecho de que con esta técnica antropométrica se hayan encontrado diferencias en el contenido de masa muscular entre los antebrazos, pero no en el contenido de tejido adiposo subcutáneo, más bien reafirma la noción de que la pérdida localizada de tejido adiposo subcutáneo no es posible (Ramírez, R., 2009). En otro estudio, 13 varones fueron sometidos a 27 días de entrenamiento abdominal (Katch, F.I., et al., 1984). Durante este periodo, los sujetos realizaron 5.000 flexiones abdominales, donde cada repetición tenía una duración de entre 10 - 30 segundos. Por tanto, los sujetos sometían a tensión muscular a su musculatura abdominal durante 30 - 90 minutos/día. Los resultados del estudio demostraron que los sujetos redujeron el tamaño de sus células adiposas (determinado por medio de biopsias) abdominales, aunque la reducción era la misma que se observó en los adipositos de la región glútea y subescapular. Otro estudio (Nindl, B.C., et al., 2000) sometió a 31 mujeres a 6 meses de entrenamiento, en donde las extremidades inferiores eran sometidas a una mayor carga de trabajo vs. extremidades superiores. Se pudo demostrar (por DEXA) que las extremidades superiores redujeron 31% su contenido graso, el tronco redujo un 12%, mientras que las extremidades inferiores no mostraron reducción de su contenido graso, aunque fueron los músculos esqueléticos del tren inferior los únicos que demostraron una ganancia significativa de masa muscular. En otro estudio de la misma línea (Ramírez, R., 2006), 6 hombres y 2 mujeres, estudiantes de educación física, entrenaron durante 3 meses, únicamente su extremidad inferior derecha, dejando a su extremidad contra lateral como control (disminuyendo así el efecto contaminante de la varianza genética). El entrenamiento tenía una frecuencia de 2-3 sesiones/semana. Los sujetos entrenaron en promedio 80 minutos/sesión, en donde alcanzaban un ritmo cardíaco aproximado de 110 latidos/minuto (55% del máximo) (considere que el ritmo cardíaco máximo disminuye a medida que disminuye la masa muscular empleada) (McArdle, W., et al., 2002). Los resultados del estudio demostraron (por DEXA) que la masa muscular de la extremidad entrenada se incrementó significativamente, no así la masa muscular de la extremidad control. Por otro lado, la masa grasa no se modificó en ninguna de las extremidades inferiores. Uno de los estudios de esta línea (uno de los más importantes en cuanto a número de sujetos participantes), sometió a 45 hombres y 59 mujeres a entrenamiento físico localizado (Kostek, M.A., et al., 2007). Los sujetos entrenaron su extremidad superior derecha con sobrecarga, durante 12 semanas. Los resultados del estudio demostraron (mediante resonancia nuclear magnética) que los varones incrementaron su masa muscular en la extremidad entrenada vs. la no entrenada, mientras que las mujeres no modificaron en forma significativa su masa muscular con el entrenamiento. Con respecto a la masa grasa de las extremidades, cuando se analizó el grosor de los pliegues cutáneos mediante kineantropometría, se pudo observar una reducción en la extremidad superior derecha de los varones, no así en la extremidad izquierda. En las damas, el grosor de los pliegues cutáneos no se redujo en ninguna extremidad. Cuando el análisis de masa grasa se realizó mediante resonancia nuclear magnética, no se pudo observar una reducción de masa grasa en ninguna extremidad, ni en los varones ni en las damas. Los autores señalaron que el incremento de la masa muscular observado en los varones, habría ocasionado un efecto de compresión sobre el tejido adiposo subcutáneo adyacente al músculo hipertrofiado, lo cual habría ocasionado una menor lectura del grosor del pliegue cutáneo mediante la técnica kineantropométrica. Por tanto, la técnica kineantropométrica no sería la técnica más indicada para el estudio del fenómeno de la pérdida localizada de tejido adiposo subcutáneo. Otras técnicas, como la DEXA, la tomografía computarizada o la resonancia nuclear magnética, podrían ser más apropiadas.

¿DESDE CUANDO SE EMPIEZAN A OXIDAR LOS LÍPIDOS?

Si bien es cierto que cuando se ejercita frente a una intensidad fija de esfuerzo físico, mientras más prolongado sea el ejercicio, mayor sería la contribución de los lípidos al metabolismo energético (al menos durante el ejercicio en donde no se ingieran carbohidratos) (Jeukendrup, A.E., et al., 2006), esto no significa que no se utilicen los lípidos desde los primeros minutos del esfuerzo físico. Al respecto, 18 ciclistas moderadamente entrenados (58-64 ml/kg/min), fueron sometidos a diferentes duraciones de esfuerzo físico, que iban desde los 5 a los 80 minutos (Achten, J., et al., 2002). Los resultados del estudio señalaron que los sujetos lograban una FATmax similar frente a las diferentes duraciones de esfuerzo físico. En otro estudio (Jeukendrup, A.E., et al., 2006), un grupo de deportistas bien entrenados se sometió a 5 horas de ejercicio, efectuado frente al 58% del $\text{VO}_2\text{máx}$. Desde los primeros minutos del ejercicio, los lípidos contribuían al metabolismo energético, observándose valores de oxidación lipídica superiores a los 0,4 - 0,5 g/min. Si bien la contribución de los lípidos se incrementó en forma significativa después de 120 minutos de ejercicio, esto solo ocurrió cuando los sujetos ingerían agua durante el ejercicio, pues cuando los sujetos ingerían una bebida con carbohidratos, el ritmo de oxidación lipídica de 0,4 - 0,5 g/min observado al inicio del ejercicio, se mantenía durante las 5 horas posteriores. Los resultados de este estudio demuestran que la duración del esfuerzo físico no es el factor más importante relacionado con la regulación

del metabolismo lipídico durante el ejercicio. Pillard, F., et al (2007), sometieron a 8 hombres y 8 mujeres con sobrepeso a dos protocolos de ejercicio, cada uno compuesto por dos bloques de ejercicio. En uno de estos protocolos, los sujetos debían ejercitar durante 30 minutos frente al 30% de su VO_2 máx (bloque 1) y luego durante 30 minutos frente al 50% de su VO_2 máx (bloque 2). En el otro protocolo, los sujetos ejercitaban durante 30 minutos frente al 30% de su VO_2 máx (bloque 3) y luego durante 30 minutos frente al 70% de su VO_2 máx (bloque 4). La oxidación lipídica fue determinada al minuto 20 y al minuto 30 de cada bloque de ejercicio. Se pudo observar que la oxidación lipídica se incrementaba en el tiempo (por sobre los valores observados al inicio del ejercicio) solo durante el bloque 4 (después de 50 minutos de ejercicio), sin embargo, el ritmo de oxidación lipídica fue superior durante el bloque 2, lo cual no se explicaría por su ubicación posterior al bloque 1, si no por la intensidad utilizada, la cual posiblemente haya correspondido cercanamente con la FATmax de los sujetos. Por tanto, el que la oxidación lipídica se incremente en el tiempo, no es sinónimo de que esta se maximice durante el esfuerzo físico. En otro estudio (Venables, M.C., Jeukendrup, A.E., 2008), un grupo de 8 sujetos obesos (sedentarios, 39 años, 99 kg, IMC 32,5 kg/m², 29% grasa, 33 ml/kg/min) ejercitó sobre un tapiz rodante durante 30 minutos, frente al 50% del VO_2 máx, con la finalidad de analizar el metabolismo lipídico. El análisis se llevó a cabo mediante calorimetría indirecta, con la ayuda de un equipo automatizado de análisis de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Wuerzberg, Alemania). Los sujetos oxidaron 10,5 g de lípidos. En otra oportunidad, los mismos sujetos ejercitaron con la misma intensidad, pero durante 60 minutos. En esta ocasión oxidaron 24,4 g de lípidos. Esto significa que el ritmo de oxidación lipídica fue 13% superior en la condición B, sin embargo la contribución lipídica fue importante desde el inicio del esfuerzo físico.

Desde el punto de vista práctico, se podría recomendar (cuando sea apropiado) ejercitar por más de 30 minutos, ya sea en forma continua o en forma intermitente. Se ha señalado que el ejercicio intermitente (vs. el de carácter continuo), disminuye el estrés metabólico glicolítico y favorece la oxidación mitocondrial de sustratos, incluyendo a los lípidos (Essen, B., 1978a; Essen, B., 1978b; Essen, B., Kaijser, L., 1978; Essen, B., Hagenfeldt, L., Kaijser, L., 1977; Essen, B., Jansson, E., Henriksson, J., Taylor, A.W., Saltin, B., 1975). La recomendación de ejercitar por más de 30 minutos no debe darse bajo la perspectiva de que esta sea la cantidad de tiempo requerida para empezar a oxidar lípidos, si no porque mientras más tiempo de ejercicio se consiga, mayor cantidad de kcal y/o gramos de grasa se habrán utilizado entre el inicio y el final de este (siempre y cuando la intensidad haya sido adecuada, es decir, una intensidad inferior al 85% del VO_2 máx). Además, un sujeto que logre ejercitar por más tiempo, es probable que sea un sujeto que esté incrementando su fitness y/o su salud, lo cual se puede conseguir de manera independiente de los cambios en peso o composición corporal (Ramírez, R., 2002).

¿ES POSIBLE FAVORECER LA OXIDACION DE LIPIDOS DURANTE EL EJERCICIO, AL MISMO TIEMPO QUE SE PROMUEVE UN DESARROLLO DEL FITNESS AEROBICO?

El Colegio Americano de Medicina Deportiva (Pollock, M.L., et al., 1998) señala que para mejorar el fitness cardiorrespiratorio, se debe alcanzar una intensidad mínima (o umbral) de ejercicio, sin embargo, esta intensidad no necesariamente se correspondería con la intensidad óptima de ejercicio para oxidar lípidos (FATmax). Por tanto, desde el punto de vista práctico, resultaría muy útil determinar si la intensidad utilizada durante el entrenamiento destinado a incrementar el fitness cardiorrespiratorio, permite también maximizar la utilización de lípidos. Al respecto, 20 hombres y 16 mujeres (corredores recreativos) fueron analizados con respecto a su zona de FATmax, definido como el rango de intensidades que permite mantenerse dentro de $\pm 10\%$ de la FATmax (Achten, J., et al., 2002). Los resultados señalaron que el grupo de sujetos estudiado presentaba su zona FATmax entre el 59 - 76% de la cardíaca máxima. Por otro lado, los autores señalaron que las intensidades de ejercicio correspondientes al 68-87% de la frecuencia cardíaca máxima de los sujetos, deberían ser la utilizadas para tratar de mejorar el fitness cardiorrespiratorio de estos. Por tanto, el rango de intensidades comprendido entre el 68-76% del ritmo cardíaco máximo, sería el que los sujetos deberían utilizar para tratar de incrementar tanto su fitness cardiorrespiratorio como la utilización de lípidos durante el ejercicio. Estos resultados son alentadores, pues indican que en una misma sesión de entrenamiento físico se pueden conseguir dos objetivos potencialmente importantes. Sin embargo, cabe señalar que el entrenamiento promueve adaptaciones que acercan al individuo cada vez más a su potencial genético de rendimiento físico aeróbico (Platonov, V.N., 1994), lo cual implicaría que el individuo debería incrementar la intensidad de su entrenamiento a medida que progresa en el tiempo, con la finalidad de seguir estimulando los procesos adaptativos biológicos del organismo. Si bien entre las adaptaciones conseguidas con el entrenamiento se encuentra una mayor habilidad para utilizar lípidos como combustible, ya sea frente a intensidades relativas y/o absolutas de ejercicio (Jeukendrup, A.E., 2002), la incrementada intensidad de entrenamiento utilizada por deportistas de alto nivel, no permitiría maximizar la utilización de lípidos como combustible durante el ejercicio. A pesar de esto, los deportistas de alto nivel suelen presentar porcentajes de grasa corporal bajo el promedio. Este último punto resulta muy interesante, pues de estas consideraciones nace una pregunta que aún no tiene respuesta y que es clave, la cual se trata a continuación.

SI EL OBJETIVO ES REDUCIR LA MASA GRASA CORPORAL Y MEJORAR LA COMPOSICION CORPORAL: ¿SE DEBERIA DAR PRIORIDAD A LA OXIDACION DE LIPIDOS DURANTE EL EJERCICIO O LA OXIDACION ABSOLUTA DE SUSTRATOS ENERGETICOS?

Al respecto, un estudio sometió a 24 varones obesos ($IMC = 32 \text{ kg/m}^2$) a 12 semanas de entrenamiento, con una frecuencia de 3 sesiones/semana (Van Aggel-Leijssen, D.P.C., et al., 2002). Los sujetos fueron divididos en 3 grupos. Un grupo correspondía al grupo control. Un segundo grupo entrenó frente al 40% de su $VO_2\text{máx}$, intensidad que permitía maximizar la utilización de lípidos como combustible durante las sesiones de entrenamiento. Un tercer grupo entrenó frente al 70% de su $VO_2\text{máx}$. En ambos grupos de entrenamiento el gasto energético alcanzaba 5 kcal/kg masa magra, lo que equivalía aproximadamente a 350 kcal/sesión. Tanto antes como después del periodo de entrenamiento, los sujetos se sometieron a un test de 60' sobre cicloergómetro, frente al 50% $VO_2\text{máx}$ pre intervención, para determinar la capacidad de oxidación de lípidos. Los resultados del estudio demostraron que los sujetos del grupo que entrenó frente al 40% del $VO_2\text{máx}$ fueron los únicos en incrementar su habilidad para oxidar lípidos durante el esfuerzo físico, pasando de una oxidación lipídica (respecto al gasto calórico total durante el ejercicio) del 35% al 52%. Los resultados del estudio también demostraron que esta mayor habilidad para utilizar a los lípidos como combustible, frente a una intensidad absoluta de ejercicio, no se explicaría por una mayor utilización de ácidos grasos plasmáticos, si no por una mayor utilización de ácidos grasos provenientes de fuentes intramusculares. En otro estudio (Venables, M.C., Jeukendrup, A.E., 2008), 8 sujetos obesos y sedentarios se sometieron a dos protocolos de entrenamiento físico. En uno de estos, los sujetos entrenaron durante 4 semanas, con una frecuencia de 5 días/semana, frente a una intensidad equivalente a FATmax. Luego de este periodo de entrenamiento, los sujetos llevaron a cabo un segundo protocolo de entrenamiento (con un periodo de 6 semanas de desentrenamiento entre protocolos), también de 4 semanas de duración y con una frecuencia de 5 días/semana, pero frente a una intensidad correspondiente a $\pm 20\%$ FATmax (fuera de la zona FATmax). La duración de las sesiones de entrenamiento se controlaba en ambos protocolos, con la finalidad de que estas fueran eucalóricas. La determinación de la FATmax fue individualizada. Antes y después de los periodos de entrenamiento, los sujetos fueron testeados durante 30 minutos de ejercicio, frente al 50% del valor de $VO_2\text{máx}$ pre entrenamiento, con la finalidad de analizar el metabolismo lipídico. Además, se estudió la respuesta insulínica de los sujetos frente a una carga oral de glucosa y también la sensibilidad insulínica de estos. Los resultados demostraron que el entrenamiento no provocó modificaciones de la composición corporal o de la condición física (factores que podrían influir sobre el metabolismo lipídico durante el ejercicio). También se observó que durante el ejercicio, los sujetos entrenados frente a FATmax habían incrementado en 44% su capacidad para oxidar lípidos. Los sujetos también demostraron un incremento de 23% en su sensibilidad insulínica y habían reducido su respuesta insulínica frente a una carga oral de glucosa. La mayor habilidad para utilizar a los lípidos como combustible durante el ejercicio de intensidad absoluta, observada en los estudios anteriormente citados, podría deberse a la modificación de variables fisiológicas como por ejemplo: incremento del número de mitocondrias a nivel muscular, incremento de actividad de la enzima CPT-1 (enzima clave para la captación y posterior oxidación de ácidos grasos a nivel mitocondrial), modificación en la ubicación estratégica de la FAT/CD36 (proteína transportadora de ácidos grasos a nivel de membrana plasmática y que parece tener un rol en la utilización de estos a nivel mitocondrial - Campbell, S.E., et al., 2004), incremento en la utilización de triglicéridos intramusculares (Venables, M.C., Jeukendrup, A.E., 2008).

Los dos estudios antes citados, demostraron que el entrenamiento frente a FATmax podría resultar en una mayor habilidad para emplear a los lípidos como combustible durante el ejercicio realizado frente a una intensidad absoluta de trabajo, sin embargo, no demuestran que el entrenamiento frente a FATmax ofrezca una ventaja con respecto a la modificación del peso corporal graso o composición corporal, de hecho, el estudio de Venables, M.C. y Jeukendrup, A.E. (2008) demostró que el entrenamiento frente a FATmax puede resultar en adaptaciones del metabolismo lipídico frente a esfuerzo físico, pero que no necesariamente se traducirían en una modificación favorable del peso o composición corporal. Es más, una modificación del metabolismo lipídico durante el esfuerzo físico, en teoría, podría tener un menor impacto sobre la modificación del peso y/o composición corporal vs. una modificación del metabolismo lipídico en reposo. Por ejemplo, el estudio de Venables, M.C. y Jeukendrup, A.E. (2008), donde participaron 8 sujetos obesos (sedentarios, 39 años, 99 kg, $IMC 32,5 \text{ kg/m}^2$, 29% grasa, 33 ml/kg/min), demostró que el entrenamiento frente a FATmax podía inducir un incremento de 44% en la oxidación de lípidos durante el ejercicio, que en el caso de los sujetos participantes en su estudio significó pasar de 0,25 g/min a 0,35 g/min frente a un esfuerzo físico realizado al 50% del $VO_2\text{máx}$ sobre tapiz rodante (el análisis del metabolismo lipídico se llevó a cabo mediante calorimetría indirecta, con la ayuda de un equipo automatizado de análisis de gases). Si se considera que en su estudio los sujetos llegaron a ejercitar durante 60 minutos, 5 días/semana, esto podría implicar una oxidación lipídica de 105 g/semana. Por contraparte, en un estudio donde un grupo de 7 sujetos (22 años, 1,77 m, 83 kg, 10% grasa) se sometió a 30 minutos de ejercicio con sobrecarga (4 series de 3 ejercicios, tipo circuito), la RIR (determinada mediante calorimetría indirecta y ecuaciones estequiométricas) cayó de 0,9 (a las 29 horas pre ejercicio), a 0,79 (inmediatamente post ejercicio) y a 0,84 (a las 43 horas post ejercicio), además, el consumo de

oxígeno en reposo (durante las 48 horas post ejercicio) se incrementó de aproximadamente 3,3 ml/kg/min a 3,9 ml/kg/min (Schuenke, M.D., et al., 2002). Considerando que los sujetos presentaban un peso promedio de 83 kg, estos habrían estado consumiendo, al menos, 143 litros extra de oxígeno durante las 48 horas posteriores a la sesión de ejercicio. Si la RIR cayó (al menos) a 0,84 durante las 48 horas post ejercicio, entonces los sujetos habrían gastado 694 kcal extra en reposo (considerando 4,85 kcal/LO₂ frente a ese RIR), de las cuales 53% habrían sido a partir de lípidos, es decir, 368 kcal, lo que equivale a 40 g de lípidos oxidados en 48 horas (Lamb, D.R., 1985). Por tanto, teóricamente, 3 sesiones de entrenamiento con sobrecarga a la semana podrían haber inducido, en reposo, una oxidación lipídica extra de 120 g/semana. Cabe añadir que la sesión de ejercicios con sobrecarga realizada por los sujetos participantes del estudio de Schuenke, M.D., et al. (2002) tenía una duración de 31 minutos, por tanto, 3 sesiones de este tipo por semana implicarían una inversión de tiempo de 93 minutos, en comparación a los 300 minutos (223% más) invertidos por los sujetos que participaron en el estudio de Venables, M.C. y Jeukendrup, A.E. (2008).

No parecen existir estudios que demuestren que una elevada oxidación de lípidos durante las sesiones de entrenamiento se traduzca, en el largo plazo, en una óptima modificación de la composición corporal. De hecho, algunos estudios demuestran que altas intensidades de ejercicio, en donde se emplearían en forma preferencial a los carbohidratos como sustrato energético, modificarían de manera más favorable la composición corporal vs. intensidades inferiores (Trapp, E.G., et al., 2008). Si consideramos, por ejemplo, a los deportistas que compiten en pruebas de fondo y medio fondo, cuyas sesiones de entrenamiento se realizarían a intensidades elevadas, debido a la necesidad de estos deportistas por lograr una intensidad que les permita alcanzar el umbral de estimulación adaptativa (Platonov, V.N., 1994), en estas sesiones los carbohidratos resultarían ser el combustible principalmente utilizado, y a pesar de esto, los deportistas se caracterizarían por presentar porcentajes de grasa corporal muy bajos (McArdle, W., et al., 2002).

Se ha señalado que el balance energético negativo que acompaña al ejercicio es lo que conduciría a una pérdida de peso graso, no la alteración del metabolismo lipídico (Horowitz, J.F., 2003). En un estudio de Stallknecht B., et al. (2007), se demostró que durante el ejercicio podrían presentarse alteraciones del metabolismo lipídico bastante intrigantes, específicamente, los resultados del estudio demostraron que el ejercicio localizado podría tener cierto impacto sobre la lipólisis localizada a nivel de tejido adiposo subcutáneo de extremidades inferiores (no a nivel de cuerpo entero). Esto podría haber sido interpretado por los autores como evidencia para recomendar el ejercicio físico localizado como estrategia para modificar el contenido de grasa corporal, sin embargo, los autores señalaron que se gastan más calorías durante el ejercicio aeróbico en donde se emplean grandes grupos musculares y, por tanto, las personas que pretenden perder grasa corporal deberían realizar ejercicio aeróbico con grandes grupos musculares, que impliquen un importante gasto energético. En otro estudio (Trapp, E.G., et al., 2008), en donde participaron 30 mujeres pre menopáusicas (con y sin sobrepeso), estas fueron separadas en tres grupos. En uno de estos grupos (A, n=10), las mujeres fueron sometidas a 15 semanas de entrenamiento, donde entrenaban con una frecuencia de 3 sesiones/semana y 40 minutos de ejercicio aeróbico continuo por sesión. Un segundo grupo de mujeres (B, n=10) también entrenó durante 15 semanas y con una frecuencia de 3 sesiones/semana, pero sus sesiones de entrenamiento tenían una duración de tan solo 20 minutos, en donde ejercitaban de forma interválica, realizando 8 segundos de trabajo de máxima intensidad, seguido de 12 segundos de trabajo de baja intensidad). Las sesiones en ambos grupos resultaron eucalóricas. Un tercer grupo de mujeres (C, n=10) sirvió como control. Los resultados del estudio demostraron que las mujeres del grupo A y B lograron un incremento de su fitness cardiovascular. También se observó que solamente el grupo B redujo su peso corporal, grasa corporal total, grasa subcutánea del tronco e insulina basal. También resultó interesante observar que las mujeres del grupo B redujeron de manera más importante la grasa subcutánea de las piernas vs. los brazos. Además, cabe señalar que en el grupo B participaron mujeres con y sin sobrepeso y que las mujeres con sobrepeso obtuvieron una mayor reducción de grasa vs. mujeres sin sobrepeso. La fase de ejercicio intenso, durante el entrenamiento interválico, podría haber incrementado en forma superior el nivel de catecolaminas y esto permitiría haber logrado una mayor movilización y oxidación de lípidos, tanto subcutáneos como intramusculares (Trapp, E.G., et al., 2008), lo cual podría haber ocurrido durante, así como también después del ejercicio. Además, un elevado nivel de catecolaminas (pero no tanto como para inducir vasoconstricción en tejido adiposo) podría ser necesario para movilizar los depósitos de grasa subcutánea glútea y femoral, lo cual podría explicar la mayor pérdida de grasa desde estas regiones en las mujeres del grupo B (Ramírez, R., 2006). Las catecolaminas son hormonas reguladoras de la lipólisis en tejido adiposo y estas se incrementan durante la realización de ejercicio, pero, a diferencia de la noradrenalina, la adrenalina podría requerir una mayor intensidad de ejercicio para incrementarse de manera significativa (Wilmore, J., Costill, D., 2004). Por tanto, una mayor intensidad de ejercicio permitiría un ambiente hormonal más propicio para la lipólisis, sobre todo considerando que la adrenalina podría jugar un rol más relevante que la norepinefrina al momento de inducir lipólisis en tejido adiposo subcutáneo (De Glisezinski I., et al., 2009). Este último punto debe ser considerando bajo la perspectiva de que el nivel de catecolaminas no supere el umbral que induce vasoconstricción en tejido adiposo y/o considerando también que el ejercicio provoca una alteración metabólica que perdura después de este y que mientras mayor sea la intensidad, mayor sería dicha alteración, lo cual puede llevar a una mayor utilización del metabolismo lipídico post ejercicio.

CONCLUSIONES

Los lípidos pueden ser utilizados como combustible durante la realización de esfuerzo físico, aunque su utilización dependería de una serie de factores, como por ejemplo la intensidad del ejercicio, su duración, el tipo de ejercicio y tamaño de los músculos empleados, la dieta y nivel de glucógeno muscular que posea el sujeto, del nivel de AGL y/o lactato en sangre, del sexo, de la ingesta de comida en los momentos previos al ejercicio y durante este, del nivel de entrenamiento ($VO_2\text{máx}$) que posea un sujeto, entre otros.

La utilización de este sustrato durante el ejercicio podría ser importante desde el punto de vista de la salud, del rendimiento físico y posiblemente desde el punto de vista de la composición corporal (Dumortier, M., et al., 2003).

Los lípidos oxidados durante el ejercicio pueden provenir del plasma sanguíneo (principalmente a partir de ácidos grasos provenientes desde el tejido adiposo subcutáneo) o desde los TG intramusculares, aunque el uso de uno u otro depósito podría depender en gran medida de la intensidad y duración del ejercicio. Los TG intramusculares utilizados durante el ejercicio, provienen de los músculos esqueléticos activos, es decir, estos son utilizados localizadamente. Por otro lado, los ácidos grasos provenientes desde tejido adiposo subcutáneo no pueden ser utilizados en forma local.

Los lípidos podrían ser utilizados como combustible desde el inicio del ejercicio (siempre y cuando la intensidad de este sea inferior al 85% del $VO_2\text{máx}$). Por tanto, no es necesario realizar esfuerzo físico por más de 20 o 30 minutos para “empezar” a oxidar lípidos.

Considerando que existe un rango de intensidades en donde se puede entrenar tanto la maximización lipídica (incrementar la habilidad para usar a los lípidos como combustible durante el ejercicio), así como también el $VO_2\text{máx}$ y el rendimiento físico aeróbico en una misma sesión, los sujetos que inician su entrenamiento podrían desarrollar ambas cualidades de manera tiempo-eficiente. Pero a medida que el $VO_2\text{máx}$ y el rendimiento físico aeróbico mejoran, se van requiriendo mayores intensidades de ejercicio para lograr nuevos incrementos en estas, lo cual implicaría la utilización de intensidades que podrían no permitir una importante utilización lipídica durante el esfuerzo físico. Así, si bien sería posible entrenar, en una misma sesión, tanto para mejorar el rendimiento físico aeróbico como para maximizar la oxidación de lípidos, las personas con un avanzado nivel de entrenamiento (p.e., deportistas) podrían dar prioridad al mejoramiento del rendimiento por sobre la oxidación lipídica.

Aun se deben conducir estudios para determinar cual es la mejor estrategia (si es que existe) para intentar modificar favorablemente el peso y/o composición corporal por medio del ejercicio. En este sentido, una pregunta interesante sería: ¿se debería dar prioridad a la oxidación de lípidos durante el ejercicio o la oxidación absoluta de sustratos energéticos?

APLICACIONES PRACTICAS

Para maximizar la oxidación de lípidos durante el ejercicio, se debería escoger una intensidad no muy elevada, correspondiente a un 60-80% del ritmo cardíaco máximo (40 - 75% del $VO_2\text{máx}$). También se deberían emplear grandes grupos musculares. Por ejemplo, un sujeto de 20 años, con una frecuencia cardíaca máxima de 200 latidos por minuto, podría ejercitar a una intensidad de 120 - 160 latidos por minuto (mientras menor el nivel de entrenamiento del sujeto, se recomienda la utilización del espectro más bajo de intensidad), ya sea corriendo, andando en bicicleta, caminando, etc.

Los lípidos pueden ser oxidados desde el inicio del ejercicio (lo que implica la posibilidad de realizar sesiones no tan largas de ejercicio, es decir, de menos de 20-30 minutos, las cuales igualmente permitirían oxidar lípidos), y si este se prolonga en el tiempo, mayor cantidad de lípidos totales serán oxidados. Además, frente a una misma intensidad, es probable que el ritmo de oxidación lipídica se incremente a medida que el ejercicio se prolonga en el tiempo. Por ejemplo, un sujeto que no puede ejercitar en forma continua durante 30 minutos, podría realizar 3 series de 10 minutos. Ahora bien, si el sujeto puede ejercitar por más de 30 minutos y lo hace, por ejemplo, frente al 60% de su frecuencia cardíaca máxima, es probable que la utilización de lípidos (que se da desde el inicio del ejercicio) se incremente paulatinamente en el tiempo.

La ingesta de carbohidratos en los momentos previos al ejercicio o durante este, disminuiría la utilización de lípidos como combustible, pero podría significar un mejor rendimiento físico. Por tanto, para los sujetos que entrenan con la finalidad de mejorar su rendimiento físico aeróbico (p.e., ciclista de ruta, maratonista), la mejor estrategia sería consumir carbohidratos antes y/o durante el ejercicio.

Sería importante mejorar la condición física ($VO_2\text{máx}$), pues un elevado fitness aeróbico podría ayudar a oxidar más lípidos

durante el esfuerzo físico, además de permitir ejercitar por mayor tiempo. Por tanto, un sujeto que pretenda bajar de peso o modificar su composición corporal, podría plantearse como objetivo inicial el incremento de su condición física, para que en una segunda etapa, en donde pueda ejercitar con mayor facilidad, pueda tratar de utilizar el ejercicio físico como una ayuda en la modificación del peso y/o composición corporal.

No se debería dar prioridad a los ejercicios localizados si el objetivo es reducir el peso y/o composición corporal. La utilización de grandes grupos musculares sería la mejor estrategia para tratar de utilizar gran cantidad lípidos como combustible durante el ejercicio y/o quemar gran cantidad de kcal. Así, la utilización de los grupos musculares de las extremidades inferiores (p.e., caminata, trote, bicicleta, escaladora) debería ser prioritaria. Además, el uso añadido de los grupos musculares del tren superior a los del tren inferior (p.e., elíptica) podría ser una buena alternativa.

Los programas de ejercicio diseñados específicamente para maximizar la oxidación lipídica durante el ejercicio, podrían ser de utilidad para las personas que presenten una sensibilidad insulínica disminuida. Por tanto, este grupo poblacional podría reducir el grado de su alteración metabólica si durante sus sesiones de ejercicio físico utiliza intensidades de ejercicio que maximicen el uso de los lípidos como combustible.

Es probable que las sesiones de entrenamiento centradas en la oxidación absoluta de sustratos energéticos (es decir, en donde se gaste una cantidad importante de kcal, sin importar que estas provengas de los lípidos o los carbohidratos) tengan un impacto, a largo plazo, más favorable sobre la modificación del peso y/o grasa corporal vs. sesiones centradas en la oxidación de lípidos como sustrato energético. De esta manera, no es claro si es realmente necesario preocuparse de maximizar la utilización de lípidos como combustible durante las sesiones de ejercicio físico.