



FACTORES NUTRICIONALES QUE AFECTAN LAS TASAS DE OXIDACIÓN DE GRASAS DURANTE EL EJERCICIO

Rebecca K. Randell, PhD | Gatorade Sports Science Institute

Lawrence L. Spriet, PhD | Salud Humana y Ciencias de la Nutrición, Universidad de Guelph, Ontario Canadá

PUNTOS CLAVE

- La calorimetría indirecta es una técnica común no invasiva utilizada para estudiar la contribución de las grasas al gasto energético durante el ejercicio.
- Se ha desarrollado una prueba de ejercicio incremental que mide las tasas máximas de oxidación de grasa (MFO, por sus siglas en inglés) y la intensidad del ejercicio cuando ocurre la MFO (FATMÁX).
- Hay una gran variabilidad individual en MFO y FATMÁX, surgiendo nueva investigación que sugiere que los individuos pueden tener una curva única de oxidación de grasas.
- Se ha encontrado que el consumo de carbohidratos antes del ejercicio disminuye las tasas de oxidación de grasas en ~30%.
- Se ha sugerido que el consumo de té verde, grosella negra de Nueva Zelanda (GNNZ), cafeína y ácidos grasos omega-3, aumentan la oxidación de grasas. Solo se han mostrado resultados prometedores con el té verde y la GNNZ, pero se necesita más investigación acerca de sus efectos bajo condiciones de ejercicio y los mecanismos de acción.
- Las estrategias para disminuir la disponibilidad de glucógeno muscular y/o hepático antes del entrenamiento físico pueden aumentar la adaptación de las vías para metabolizar grasa y aumentar la oxidación de grasas durante el ejercicio.
- Sin embargo, el aumento de la oxidación de grasas durante el ejercicio no está asociado con mejoras en el rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Durante el ejercicio, la oxidación de grasas y carbohidratos (CHO) proporciona energía para los músculos que se contraen. La grasa es el combustible dominante a intensidades bajas de ejercicio y contribuye con cerca del 50% del combustible a intensidades de ejercicio de ~50-60% del consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2\text{máx}}$). Conforme la intensidad del ejercicio aumenta por encima de ~60-65% del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ hay un cambio en la utilización de sustratos energéticos, con un aumento progresivo en la contribución relativa de CHO y una disminución simultánea de grasa en el gasto energético total. La regulación de la oxidación de grasas durante el ejercicio se ha discutido en un artículo complementario de Sports Science Exchange (SSE) escrito por Spriet y Randell (2020).

Un aumento en el metabolismo de las grasas durante el ejercicio puede reducir la utilización de las fuentes limitadas de CHO, almacenadas en el músculo e hígado. Esto frecuentemente lo ven como algo atractivo los atletas y/o profesionales del deporte, ya que se asume que el glucógeno muscular y hepático que se preserva (los almacenes endógenos de carbohidratos) podría utilizarse fácilmente para periodos de ejercicio de alta intensidad (por ejemplo, en deportes intermitentes) y retrasar la fatiga. Aumentar la dependencia a la grasa durante el entrenamiento físico también puede aumentar la adaptación que ocurre en las vías que metabolizan las grasas en el músculo esquelético. El propósito de este artículo de SSE es examinar cómo la manipulación de la dieta, suplementos nutricionales y estrategias de entrenamiento nutricional pueden afectar la oxidación de grasas

durante el ejercicio y comentar sobre los efectos potenciales sobre el rendimiento en el ejercicio, donde los datos estén disponibles.

TASAS DE OXIDACIÓN DE GRASAS EN ATLETAS

La calorimetría indirecta es una de las técnicas usadas más ampliamente para estudiar la contribución de grasa al gasto energético durante ejercicio, debido a que es un método no invasivo. Además, esta técnica, aunque indirecta y requiere de un estado estable, permite las mediciones de oxidación de grasas durante una sesión de ejercicio por un amplio rango de intensidades de ejercicio.

Achten y colaboradores (2002) desarrollaron y validaron un protocolo de prueba incremental que determinaba la máxima oxidación de grasas (MFO; la tasa más alta de oxidación de grasa), así como la intensidad del ejercicio (más comúnmente representada como el $\% \dot{V}O_{2\text{máx}}$) donde ocurre MFO (FATMÁX) (Figura 1). Al principio desarrollada en un cicloergómetro, la prueba incluía aumentos continuos en la tasa de trabajo, cada 3 min por 35 W, hasta el agotamiento. Durante la prueba se obtienen mediciones de respiración por respiración y se calculan tasas de oxidación de grasas (usando ecuaciones estequiométricas) para cada etapa de la prueba (Jeukendrup & Wallis, 2005). Después de este estudio inaugural, el mismo grupo también desarrolló un protocolo de prueba en caminadora (Venables et al., 2005).

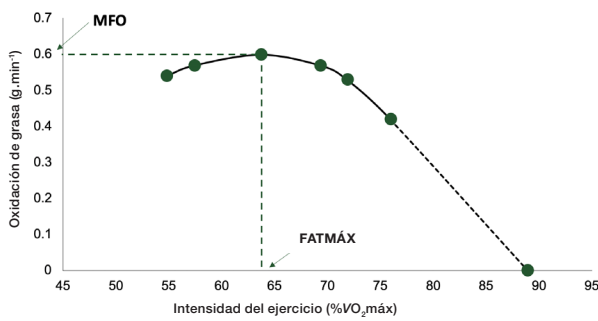


Figura 1. Ejemplo de una curva de oxidación de grasas (adaptado de Achten et al., 2002). MFO, tasa máxima de oxidación de grasas; FATMÁX, porcentaje de consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) donde la tasa de oxidación de grasa es la máxima.

Desde entonces, numerosos estudios han utilizado esta prueba incremental, realizada ya sea en cicloergómetro o caminadora, para determinar tasas de MFO en adultos entrenados (Achten et al., 2003), desentrenados (Stisen et al., 2006) y obesos y sedentarios (Venables et al., 2005). Una observación interesante de estos datos fue que existieron grandes diferencias entre individuos tanto en MFO como en FATMÁX, dentro de cada estudio, y entre estudios que habían reclutado participantes similares en términos de nivel de condición física, edad y composición corporal. En un estudio de Randell y colaboradores (2017), 1121 atletas de varias edades, nivel competitivo (recreativo – elite/profesional) y deporte, completaron una sola prueba incremental en estado de ayuno (≥ 5 h). En promedio, la tasa de MFO en esta población de atletas fue 0.59 ± 0.18 g·min⁻¹. Sin embargo, este estudio también encontró grandes variaciones individuales en MFO entre todos los atletas (rango, 0.17–1.27 g·min⁻¹) y entre deportes (Tabla 1).

Para entender por qué existen estas variaciones, en los estudios se han investigado las variables que podrían predecir la MFO. Se ha encontrado que la composición corporal, el nivel de condición física, género y dieta representan ~50% de la variación en MFO (Fletcher et al., 2017; Randell et al., 2017; Venables et al., 2005). Más específicamente, en dos estudios a gran escala se encontró que la masa libre de grasa (MLG) es la variable más significativa en la predicción de MFO, proponiendo que los individuos con mayor MLG frecuentemente muestran una MFO más elevada (Randell et al., 2017; Venables et al., 2005). Sin embargo, aún queda por determinar qué representa el 50% restante de la varianza de MFO.

	Tasa máxima de oxidación de grasa (g·min ⁻¹)		FATMÁX (% $VO_{2máx}$)	
	Media	Rango	Media	Rango
Futbol (N = 283)	0.58	0.17 – 1.11	51.8	22.9 – 88.8
Basquetbol (N = 164)	0.65	0.22 – 1.20	49.8	23.3 – 88.6
Tenis (N = 143)	0.51	0.25 – 0.88	47.5	25.4 – 84.4
Beisbol (N = 283)	0.54	0.25 – 0.94	44.8	24.1 – 87.5
Futbol americano (N = 84)	0.65	0.27 – 1.27	43.7	23.3 – 79.2
Golf (N = 60)	0.49	0.21 – 0.97	47.1	22.6 – 86.9
Hockey sobre pasto/Lacrosse (N = 60)	0.63	0.31 – 1.04	47.2	25.3 – 77.0
Rugby (N = 47)	0.72	0.38 – 1.09	53.5	24.6 – 79.2

Tabla 1. Tasas máximas de oxidación de grasas y FATMÁX en diferentes deportes. $VO_{2máx}$, consumo máximo de oxígeno. FATMÁX, porcentaje de $VO_{2máx}$ donde la tasa de oxidación de grasa es la máxima.

Debe notarse que, en los estudios mencionados anteriormente, se realizó solo una prueba de ejercicio incremental, con especial atención en reportar tasas de MFO y FATMÁX. En observaciones no publicadas del estudio de Randell y colaboradores (2017) se mostró que cada individuo parecía tener una curva única de oxidación de grasa. Sin embargo, como solo se realizó una prueba, no pudo determinarse si la curva sería similar, en un mismo individuo, si se hacía la prueba en múltiples ocasiones.

Recientemente, un estudio de Randell y colaboradores (2019) reportó curvas de oxidación de grasa de jugadores profesionales de futbol evaluados en dos ocasiones, separados por un año. De manera interesante, se observó que en 13 de 16 jugadores (80%) no se encontraron diferencias en la forma de la curva de oxidación de grasas, cuando se compararon las dos pruebas. Sin embargo, en 6/16 jugadores hubo una diferencia en el desplazamiento vertical de la curva respecto al año anterior. Además, en una publicación reciente se encontró gran variabilidad entre días en MFO (Coeficiente de variación (CV) 21%) y FATMÁX (CV 26%), en una población heterogénea, cuando se evaluó en dos ocasiones (Chrzanowski- Smith et al., 2020). Estos datos sugieren que, aunque los individuos pueden tener una forma única de curva de oxidación de grasa, la altura (es decir, la capacidad de oxidar grasa) es más susceptible a cambiar y deben realizarse pruebas repetidas para determinar con más precisión la MFO y FATMÁX de manera individual.

FACTORES NUTRICIONALES QUE AFECTAN LA OXIDACIÓN DE GRASAS

A muchos factores se les atribuye que tienen efectos directos o indirectos sobre el aumento de las tasas de oxidación de grasas durante el ejercicio. La regulación del metabolismo de las grasas en el músculo esquelético durante el ejercicio y las adaptaciones que

ocurren con el entrenamiento de resistencia regular que aumenta la capacidad del músculo esquelético para oxidar grasa y aumenta la MFO de todo el cuerpo se han abordado en un artículo complementario de SSE (Spriet & Randell, 2020). Además, y aunque fuera del alcance de este SSE, debe notarse que existen diferencias entre sexos en la oxidación de grasas durante el ejercicio y se refiere al lector a una revisión reciente de Purdom y colaboradores (2018), ya que este tema no se cubrirá aquí.

Alimentación pre-ejercicio

Se ha demostrado repetidamente que el consumo de CHO pre-ejercicio resulta en una disminución de la oxidación de grasas durante el ejercicio subsecuente. Esto se debe a la elevación resultante en las concentraciones de insulina, lo que se sabe inhibe la oxidación de grasas (Horowitz et al., 1997; Sidossis et al., 1996). En estos estudios también se reporta el efecto del consumo de CHO sobre el metabolismo de sustratos durante el ejercicio prolongado (Horowitz et al., 1997; Sidossis et al., 1996).

En términos de alimentación con CHO y los efectos sobre FATMÁX y MFO, Achten y Jeukendrup (2003) alimentaron con 75 g de glucosa, o un control placebo sin CHO, 45 min antes de una prueba incremental realizada en un cicloergómetro. En la prueba placebo la MFO fue $0.46 \pm 0.06 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ y FATMÁX ocurrió a una intensidad de ejercicio de $60.1 \pm 1.9\% \text{ } \dot{V}O_{2\text{máx}}$. Sin embargo, en la prueba de CHO, la MFO se redujo en $\sim 30\%$ ($0.33 \pm 0.06 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$) y FATMÁX ocurrió a una intensidad de ejercicio menor ($52.0 \pm 3.4\% \text{ } \dot{V}O_{2\text{máx}}$). Debe resaltarse que el tipo y el momento de consumo de CHO suministrados en este estudio no fueron completamente representativos de la comida pre-ejercicio de un atleta. Así, es necesario investigar los efectos de una comida alta en CHO, ingerida 3-4 horas antes de una prueba incremental, sobre MFO y FATMÁX.

Suplementos nutricionales

Actualmente hay una gran abundancia de suplementos disponibles comercialmente referidos como “quemadores de grasa”. Más específicamente, algunos de estos suplementos contienen ingredientes que están asociados con el aumento de la oxidación de grasas durante el ejercicio (para una revisión detallada, ver Jeukendrup & Randell, 2011).

Té verde

Las hojas de té verde no están oxidadas ni fermentadas y, por lo tanto, contienen altas cantidades de catequinas-polifenoles, de los cuales el más abundante es la (-)-epigallocatequina-3-galato (EGCG). El té verde o extracto de té verde (ETV), se ha estudiado ampliamente debido a su gran contenido de polifenoles y su habilidad potencial de aumentar la termogénesis y el metabolismo de las grasas (Hodgson et al., 2013). En un meta-análisis realizado por Hursel y colaboradores (2011) se reportó un aumento de 16% en la oxidación de grasas en reposo cuando se había consumido un ETV (que incluía cafeína); sin embargo,

solo se incluyeron seis estudios en el análisis. Durante el ejercicio, en los estudios que han investigado los efectos de la suplementación con ETV sobre las tasas de oxidación de grasa se han reportado resultados ambiguos. Venables y colaboradores (2008) encontraron un aumento de 17% en las tasas de oxidación de grasas durante 30 min de ciclismo estable realizado a $60\% \text{ } \dot{V}O_{2\text{máx}}$ después de una dosis aguda de ETV consumida antes del ejercicio, al comparar con el placebo. Para determinar si la oxidación de grasas se aumentaba aún más con suplementación a largo plazo, Randell y colaboradores (2013) compararon los efectos de consumo de ETV de 1 día y 7 días, comparado con placebo. A pesar de un aumento en los niveles en plasma de EGCG (el presunto componente bioactivo del té verde), las tasas promedio de oxidación de grasas durante 60 min de ciclismo al 50% de $W_{\text{máx}}$ en las dos pruebas con té verde no difirieron de las de la prueba placebo. En un estudio de seguimiento, el consumo de 4 semanas de ETV también falló en aumentar las tasas de oxidación de grasa durante ejercicio estable (30-min de ciclismo al $50\% \text{ } W_{\text{máx}}$) (Randell et al., 2014).

Datos no publicados de Randell (2013) investigaron los efectos de la suplementación aguda de ETV sobre la oxidación de grasas durante una prueba de ejercicio incremental. Una vez más, no se observaron diferencias significativas en MFO o FATMÁX entre la prueba de ETV vs. placebo. Tomados en conjunto, parece que el consumo de té verde puede aumentar la oxidación de grasa en reposo (aunque los datos son limitados). Sin embargo, los efectos, si existen, no son tan aparentes durante condiciones de ejercicio, y podría concluirse que el ETV es incapaz de aumentar la oxidación de grasa más allá del estímulo del ejercicio.

Grosella negra

La grosella negra es otro ingrediente que ha ganado atención en las publicaciones científicas por aumentar la oxidación de grasa durante el ejercicio. Se ha encontrado que el consumo de grosella negra aumenta el flujo sanguíneo periférico (Matsumoto et al., 2005) y, por lo tanto, la teoría sugiere que la entrega de sustratos de grasa a los músculos que se contraen puede aumentarse para oxidación potencial. Como soporte, Cook y colaboradores (2015) encontraron un aumento significativo (27%) en la oxidación de grasas durante ejercicio de intensidad moderada ($65\% \text{ } \dot{V}O_{2\text{máx}}$), después de un periodo de 7 días de suplementación de 300 mg/día de grosella negra de Nueva Zelanda (GNNZ) en participantes hombres. Este aumento (27%) también se encontró en mujeres que consumieron una dosis más alta (600 mg/día) de GNNZ por un periodo de 7 días (Strauss et al., 2018). Además, cuando 15 hombres entrenados en resistencia consumieron 0, 300, 600 o 900 mg/día de GNNZ por 7 días, antes de una sesión de 120 min de ciclismo constante, se encontró un aumento de 22% y 24% en la oxidación de grasas solo en las pruebas de dosis más altas (600 y 900 mg/día, respectivamente) (Cook et al., 2017). Los estudios mecanísticos dentro de esta área son limitados, pero se especula que la sobre regulación del metabolismo de grasas

posterior al consumo de grosella negra pudiera ser en múltiples fases, incluyendo el incremento en el flujo sanguíneo mencionado anteriormente (Matsumoto et al., 2005) y la sobre regulación de las vías metabólicas (para una revisión detallada ver Cook & Willems, 2019). Debe notarse que, hasta ahora, los mecanismos propuestos no se han investigado bajo condiciones de ejercicio.

Cafeína y ácidos grasos omega

También es prudente mencionar que en la investigación se ha examinado si el consumo de cafeína y ácidos grasos (AG) omega-3 puede tener el potencial de aumentar la oxidación de grasas durante el ejercicio. Se ha encontrado que la ingesta de cafeína en dosis moderadas a altas (~5-9 mg/kg de masa corporal (MC)) aumenta las concentraciones en reposo de ácidos grasos libres (AGL) y glicerol, pero muchos estudios no han reportado aumentos simultáneos en las tasas de oxidación de grasas (Graham et al., 2000; Spriet, 2014). Cualquier aumento en el metabolismo de las grasas ocurrirá solo en los minutos iniciales del ejercicio, ya que las [AGL] en plasma se reducen rápidamente al inicio del ejercicio. Además, siendo más común usar dosis menores de cafeína (~3 mg/kg MC) en la investigación contemporánea, no se han reportado aumentos en las [AGL] o en la oxidación de grasas (Spriet, 2014).

También se ha demostrado que los AG omega-3 consumidos se incorporan dentro de la membrana de fosfolípidos del músculo esquelético (Gerling et al., 2019) y pueden influenciar la permeabilidad y la fluidez de la membrana, alterando posteriormente los procesos metabólicos de este tejido (Jeromson et al., 2015). En un estudio de Logan y Spriet (2015) se reportó un aumento en la tasa metabólica en reposo (14%), la oxidación de grasa en reposo (19%), el gasto de energía en el ejercicio (10%) y la oxidación de grasas en el ejercicio (27%), después de 12 semanas de suplementación con AG omega-3 en mujeres mayores muy inactivas. Sin embargo, cuando el mismo protocolo de suplementación se administró a hombres jóvenes saludables, y a un grupo mixto de hombres y mujeres mayores activos, no se observaron cambios en la tasa de metabolismo en reposo o el metabolismo de sustratos (Jannas-Vela et al., 2017; 2020). Hasta ahora, la bibliografía donde se examinan los efectos de la suplementación con AG omega-3 sobre el metabolismo de grasas es limitada, especialmente durante el ejercicio, y requiere de más investigación.

ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA EL ENTRENAMIENTO

Se ha encontrado que realizar entrenamiento de resistencia con baja disponibilidad de glucógeno muscular y/o hepático, en general, aumenta la expresión de genes involucrados en el metabolismo de grasas en el músculo esquelético humano (Impey et al., 2018). Las estrategias utilizadas para disminuir el contenido de glucógeno muscular y/o hepático incluyen entrenar dos veces al día, dormir bajo y/o consumir una dieta alta en grasas, y aquí se discutirán brevemente (ver también Burke & Hawley, 2018; Impey et al., 2018 para revisiones detalladas).

Entrenar dos veces al día

Este método de manipulación de disponibilidad de combustible involucra dos entrenamientos al día en donde la segunda sesión se realiza con baja disponibilidad de glucógeno muscular (al reducir el consumo de CHO después de la primera sesión). Se ha encontrado que entrenar con bajo glucógeno muscular, por al menos 3 semanas, aumenta la expresión de las enzimas del metabolismo de las grasas junto con un aumento simultáneo de ~25% en la oxidación de grasas en ciclistas bien entrenados (Hulston et al., 2010). Sin embargo, debe resaltarse que este método de entrenamiento (dos veces al día), con frecuencia reduce la intensidad del ejercicio a la cual puede realizarse la segunda sesión de entrenamiento. Así, este tipo de régimen de entrenamiento solo debe implementarse en momentos específicos de la temporada cuando la adaptación al entrenamiento sea la principal meta (y no el rendimiento).

Entrenar alto, dormir bajo

La premisa de la estrategia de “entrenar alto, dormir bajo” involucra la manipulación del consumo de CHO alrededor de las sesiones de entrenamiento. En un estudio de Lane y colaboradores (2015) los participantes consumieron una comida de CHO (8 g/kg MC) antes de una sesión por la tarde de ejercicio de alta intensidad y después durmieron sin comer (AYUNO), o consumieron una comida de 4 g CHO/kg MC antes de y después de una sesión de ejercicio (ALIM). Además, se realizó una sesión de ciclismo constante la mañana siguiente. El razonamiento detrás de esta estrategia es que la restricción aguda de CHO en la condición de AYUNO prolonga la duración de la disponibilidad baja de CHO, y como consecuencia, el transcurso del tiempo de la expresión de genes (así como sus proteínas objetivo) estará extendido y posiblemente aumentado. De acuerdo con la hipótesis, la expresión de los genes del metabolismo de grasas y síntesis de proteínas del metabolismo de grasas, estuvieron elevadas en la condición de AYUNO comparada con ALIM, y esto estuvo acompañado con un aumento de 21% en la oxidación de grasas durante la sesión de ejercicio constante. Sin embargo, nuevos estudios en esta área han producido hallazgos ambiguos, como Marquet y colaboradores (2016a) que no encontraron cambio en la utilización de sustratos posterior a una semana de intervención de dormir bajo. Además, no se observaron diferencias en la oxidación de grasas durante ejercicio submáximo cuando el método de “entrena alto, duerme bajo” se incorporó por un periodo más largo (3 semanas) (Marquet et al., 2016b). Sin embargo, en los dos estudios mencionados anteriormente, no se tomaron biopsias musculares y, por lo tanto, no se sabe qué adaptaciones ocurrieron a nivel molecular, si es que hubo alguna.

Entrenamiento en ayuno

Otro régimen que frecuentemente utilizan los atletas es entrenar en la mañana después de una noche de ayuno, sin ingerir alimento antes o durante el ejercicio. Este protocolo de entrenamiento frecuentemente se refiere como un “entrenamiento en ayuno” y se ha asociado con un aumento en la capacidad oxidativa del músculo. Es importante notar

que en esta situación las concentraciones de glucógeno muscular pueden estar normales o altas, pero el glucógeno del hígado está bajo.

En un estudio de De Bock y colaboradores (2008) hombres moderadamente activos se sometieron a un programa de entrenamiento de resistencia de 6 semanas, realizado ya sea alimentados o en estado de ayuno. Después del periodo de entrenamiento de 6 semanas, las proteínas del metabolismo de las grasas aumentaron en mayor medida en el grupo de ayuno al comparar con el grupo alimentado. Sin embargo, no se encontraron diferencias en las tasas de oxidación de grasas entre los dos grupos, pero el consumo de CHO durante las sesiones de ejercicio pudo haber prevenido cualquier cambio en la oxidación de grasas. Además, un estudio similar del mismo laboratorio de investigación, observó un mayor rompimiento de triglicéridos intramusculares durante el ejercicio después de un periodo de entrenamiento en ayuno comparado con entrenamiento con alimentación. Una vez más, no se encontraron diferencias en las tasas de oxidación de grasas. Sin embargo, los autores establecieron que la sesión de ejercicio post-entrenamiento pudo haberse realizado a una intensidad por debajo del FATMÁX y, por tanto, se observaron tasas más bajas de oxidación de grasas (Van Proeyen et al., 2011).

Dietas altas en grasa y entrenamiento

También se ha sugerido que la elevación de los AGL circulantes (a través del consumo de una dieta baja en carbohidratos y alta en grasas (LCHF, por sus siglas en inglés)) puede sobre regular las vías involucradas en el metabolismo de grasas. En un estudio elocuente de Burke y colaboradores (2017), atletas elite de resistencia se sometieron a un periodo de entrenamiento de 3 semanas ya sea con alta disponibilidad de carbohidratos, disponibilidad periodizada de carbohidratos, o una dieta LCHF. Después de un periodo de 3 semanas, se observó un aumento 2.5 veces mayor en la oxidación de grasas en el grupo LCHF (0.62 vs. ~1.5 g·min⁻¹ pre vs. post, respectivamente), al comparar con los otros grupos. Sin embargo, la oxidación de CHO se afectó significativamente en el grupo LCHF, así como la economía de carrera durante una competencia simulada, lo cual podría explicar el tiempo de rendimiento más lento en este grupo. Aunque los datos en esta área son limitados, esto sugiere que una dieta LCHF debe evitarse en atletas elite durante eventos de resistencia si el rendimiento es clave.

APLICACIONES PRÁCTICAS Y CONCLUSIONES

Parece ser que pueden emplearse diferentes estrategias ya sea para aumentar o disminuir la oxidación de grasas durante el ejercicio. Se ha encontrado que la alimentación con CHO antes del ejercicio disminuye la oxidación de grasas en ~30%. Por otra parte, está surgiendo evidencia de que ciertos suplementos (es decir, GNNZ) pueden aumentar la oxidación de grasas en ~20%. Además, disminuir el contenido de glucógeno muscular y/o hepático o consumir una dieta LCHF puede aumentar la oxidación de grasa entre 20-60% durante el ejercicio (Figura 2). Aumentar la dependencia a la grasa durante el ejercicio también puede aumentar las adaptaciones inducidas por

el entrenamiento en las vías que metabolizan grasa en el músculo esquelético. Sin embargo, debe resaltarse que aumentar la oxidación de grasa durante el ejercicio no está asociado con mejoras en el rendimiento. Por lo tanto, los métodos para aumentar el metabolismo de grasas deben incorporarse dentro de los programas de entrenamiento en momentos específicos de la temporada del atleta, no asociados con competencias.

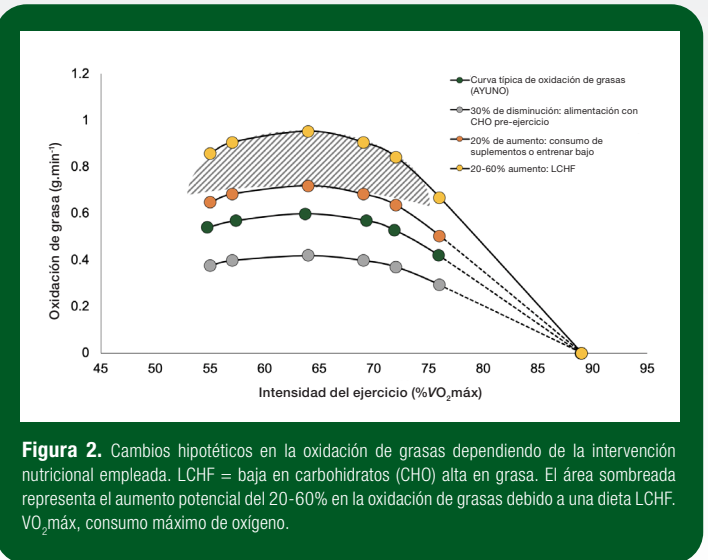


Figura 2. Cambios hipotéticos en la oxidación de grasas dependiendo de la intervención nutricional empleada. LCHF = baja en carbohidratos (CHO) alta en grasa. El área sombreada representa el aumento potencial del 20-60% en la oxidación de grasas debido a una dieta LCHF. VO₂máx, consumo máximo de oxígeno.

Rebeca Randell trabaja para Gatorade Sports Science Institute, una división de PepsiCo, Inc. Los puntos de vista expresados son de los autores y no necesariamente reflejan la posición o política de PepsiCo, Inc.

REFERENCIAS

- Achten, J., and A.E. Jeukendrup (2003). The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *J. Sports Sci.* 21:1017-1024.
- Achten, J., M. Gleeson, and A. E. Jeukendrup (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:92-97.
- Achten, J., M.C. Venables, and A.E. Jeukendrup (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism* 52:747-752.
- Burke, L.M., and J.A. Hawley (2018). Swifter, higher, stronger: What's on the menu? *Science* 362:781-787.
- Burke, L.M., M.L. Ross, L.A. Garvican-Lewis, M. Welvaert, I.A. Heikura, S.G. Forbes, J.G. Mirtschin, L.E. Cato, N. Strobel, A.P. Sharma, and J.A. Hawley (2017). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J. Physiol.* 595:2785-2807.
- Chrzanowski-Smith, O.J., R.M. Edinburgh, M.P. Thomas, N. Haralabidis, S. Williams, J.A. Betts, and J.T. Gonzalez (2020). The day-to-day reliability of peak fat oxidation and FATMAX. *Eur. J. Appl. Physiol.* Epub ahead of print.
- Cook, M.D., and M.E.T. Willems (2019). Dietary anthocyanins: a review of the exercise performance effects and related physiological responses. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:322-330.
- Cook, M.D., S.D. Myers, S.D. Blacker, and M.E. Willems (2015). New Zealand blackcurrant extract improves cycling performance and fat oxidation in cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 115:2357-2365.
- Cook, M.D., S.D. Myers, M.L. Gault, V.C. Edwards, and M.E.T. Willems (2017). Dose effects of New Zealand blackcurrant on substrate oxidation and physiological responses during prolonged cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 117:1207-1216.
- De Bock, K., W. Derave, B.O. Eijnde, M.K. Hesselink, E. Koninckx, A.J. Rose, P. Schrauwen,

- A. Bonen, E.A. Richter, and P. Hespel (2008). Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *J. Appl. Physiol.* 104:1045-1055.
- Fletcher, G., F.F. Eves, E.I. Glover, S.L. Robinson, C.A. Vernooij, J.L. Thompson, and G.A. Wallis (2017). Dietary intake is independently associated with the maximal capacity for fat oxidation during exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 105:864-872.
- Gerling, C.J., K. Mukai, A. Chabowski, G.J.F. Heigenhauser, G.P. Holloway, L.L. Spriet, and S. Jannas-Vela (2019). Incorporation of omega-3 fatty acids into human skeletal muscle sarcolemmal and mitochondrial membranes following 12 weeks of fish oil supplementation. *Front. Physiol.* 10:348.
- Graham, T.E., J.W. Helge, D.A. MacLean, B. Kiens, and E.A. Richter (2000). Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in skeletal muscle during exercise. *J. Physiol.* 529:837-847.
- Hodgson, A.B., R.K. Randell, and A.E. Jeukendrup (2013). The effect of green tea extract on fat oxidation at rest and during exercise: evidence of efficacy and proposed mechanisms. *Adv. Nutr.* 4:129-140.
- Horowitz, J.F., R. Mora-Rodríguez, L.O. Byerley, and E.F. Coyle (1997). Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise. *Am. J. Physiol.* 273:E768-775.
- Hulston, C.J., M.C. Venables, C.H. Mann, C. Martin, A. Philp, K. Baar, and A.E. Jeukendrup (2010). Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42:2046-2055.
- Hursel, R., W. Viechtbauer, A.G. Dulloo, A. Tremblay, L. Tappy, W. Rumpel, and M.S. Westerterp-Plantenga (2011). The effects of catechin rich teas and caffeine on energy expenditure and fat oxidation: a meta-analysis. *Obes. Rev.* 12:e573-581.
- Impey, S.G., M.A. Hearn, K.M. Hammond, J.D. Bartlett, J. Louis, G.L. Close, and J.P. Morton (2018). Fuel for the work required: a theoretical framework for carbohydrate periodization and the glycogen threshold hypothesis. *Sports Med.* 48:1031-1048.
- Jannas-Vela, S., K. Roke, S. Bovielle, D.M. Mutch, and L.L. Spriet (2017). Lack of effects of fish oil supplementation for 12 weeks on resting metabolic rate and substrate oxidation in healthy young men: a randomized controlled trial. *PLoS One* 12:e0172576.
- Jannas-Vela, S., S.L. Klingel, D.T. Cervone, K.A. Wickham, G.J.F. Heigenhauser, G.P. Holloway, D.M. Mutch, and L.L. Spriet (2020). Skeletal muscle sarcoplasmic reticulum and sodium potassium ATPase activities are not affected by fish oil in healthy older adults. *Physiol. Rep.* 8:e14408.
- Jeromonson, S., I.J. Gallagher, S.D. Galloway, and D.L. Hamilton (2015). Omega-3 fatty acids and skeletal muscle health. *Mar. Drugs* 13:6977-7004.
- Jeukendrup, A.E., and G.A. Wallis (2005). Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int. J. Sports Med.* 26 Suppl 1:S28-S37.
- Jeukendrup, A.E., and R.K. Randell (2011). Fat burners: nutrition supplements that increase fat metabolism. *Obes. Rev.* 12:841-851.
- Lane, S.C., D.M. Camera, D.G. Lassiter, J.L. Areta, S.R. Bird, W.K. Yeo, N.A. Jeacocke, A. Krook, J.R. Zierath, L.M. Burke, and J.A. Hawley (2015). Effects of sleeping with reduced carbohydrate availability on acute training responses. *J. Appl. Physiol.* 119:643-655.
- Logan, S.L., and L.L. Spriet (2015). Omega-3 fatty acid supplementation for 12 weeks increases resting and exercise metabolic rate in healthy community-dwelling older females. *PLoS One* 10:e0144828.
- Marquet, L.A., C. Hausswirth, O. Molle, J.A. Hawley, L.M. Burke, E. Tiollier, and J. Brisswalter (2016a). Periodization of carbohydrate intake: short-term effect on performance. *Nutrients* 8:E755.
- Marquet, L.A., J. Brisswalter, J. Louis, E. Tiollier, L.M. Burke, J.A. Hawley, and C. Hausswirth (2016b). Enhanced endurance performance by periodization of carbohydrate intake: "sleep low" strategy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48:663-672.
- Matsumoto, H., E. Takenami, K. Iwasaki-Kurashige, T. Osada, T. Katsumura, and T. Hamaoka (2005). Effects of blackcurrant anthocyanin intake on peripheral muscle circulation during typing work in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94:36-45.
- Purdom, T., L. Kravitz, K. Dokladny, and C. Mermier (2018). Understanding the factors that affect maximal fat oxidation. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 15:3.
- Randell, R.K. (2013). Factors affecting fat oxidation in exercise. Ph.D Thesis, University of Birmingham.
- Randell, R.K., A.B. Hodgson, S.B. Lotito, D.M. Jacobs, N. Boon, D.J. Mela, and A.E. Jeukendrup (2013). No effect of 1 or 7 d of green tea extract ingestion on fat oxidation during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45:883-891.
- Randell, R.K., A.B. Hodgson, S.B. Lotito, D.M. Jacobs, M. Rowson, D.J. Mela, and A.E. Jeukendrup (2014). Variable duration of decaffeinated green tea extract ingestion on exercise metabolism. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46:1185-1193.
- Randell, R.K., I. Rollo, T.J. Roberts, K.J. Dalrymple, A.E. Jeukendrup, and J.M. Carter (2017). Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Med. Sci. Sports Exerc.* 49:133-140.
- Randell, R.K., J.M. Carter, A.E. Jeukendrup, M.A. Lizarraga, J.I. Yanguas, and I. Rollo (2019). Fat oxidation rates in professional soccer players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51:1677-1683.
- Sidossis, L.S., C.A. Stuart, G.I. Shulman, G.D. Lopaschuk, and R.R. Wolfe (1996). Glucose plus insulin regulate fat oxidation by controlling the rate of fatty acid entry into the mitochondria. *J. Clin. Invest.* 98:2244-2250.
- Spriet, L.L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med.* 44:S175-S184.
- Spriet, L.L., and R.K. Randell (2020). Regulation of fat metabolism in skeletal muscle during exercise. *SSE #205*.
- Stisen, A.B., O. Stougaard, J. Langfort, J.W. Helge, K. Sahlin, and K. Madsen (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 98:497-506.
- Strauss, J.A., M.E.T. Willems, and S.O. Shepherd (2018). New Zealand blackcurrant extract enhances fat oxidation during prolonged cycling in endurance-trained females. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118:1265-1272.
- Van Proeyen, K., K. Szulcick, H. Nielens, M. Ramaekers, and P. Hespel (2011). Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *J. Appl. Physiol.* 110:236-245.
- Venables, M.C., J. Achten, and A.E. Jeukendrup (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J. Appl. Physiol.* 98:160-167.
- Venables, M.C., C.J. Hulston, H.R. Cox, and A.E. Jeukendrup (2008). Green tea extract ingestion, fat oxidation, and glucose tolerance in healthy humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 87:778-784.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Randell, R.K. and Spriet, L.L. (2020). Nutritional factors that affect fat oxidation rates during exercise. *Sports Science Exchange* Vol. 29, No. 206, 1-6, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.