



Revisión

Efectos del ayuno intermitente y el rendimiento deportivo: revisión narrativa *Effects of intermittent fasting and sports performance – A narrative review*

Daniel Pejenaute-Larráyo, Francisco Corbi, Sergi Matas

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC-Campus Lleida). Universitat de Lleida (UdL). Lleida

Resumen

Recientemente, el ejercicio en ayunas ha generado interés por su potencial para estimular adaptaciones metabólicas y del rendimiento. El presente estudio pretende analizar los efectos del ayuno y del entrenamiento en ayunas en el rendimiento y el metabolismo de manera aguda y crónica. Se realizaron búsquedas en las bases de datos Medline (PubMed), Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Cochrane y Google Scholar. En total, se identificaron 767 estudios, de los que finalmente se incluyeron 51. De manera aguda, el ejercicio en ayunas promueve la oxidación de las grasas a intensidades bajas y moderadas mientras que el catabolismo proteico no se ve aumentado. El rendimiento no se ve afectado en los esfuerzos de menos de 1 hora de duración. De manera crónica, el ayuno genera una mayor eficiencia en el metabolismo de las grasas y en la capacidad para regular la glucemia a largo plazo, aunque no se ha podido determinar si estos hallazgos mejoran el rendimiento deportivo en condiciones de alimentación previa. Se necesita más investigación en deportistas de élite, con cargas de entrenamiento elevadas y con un enfoque periodizado del ayuno.

Palabras clave:

Ayuno. Deportistas.
Metabolismo. Deportes.

Abstract

Recently, fasted exercise has generated interest for its potential to stimulate metabolic and performance adaptations. The present study aims to analyze the effects of fasting and fasted training on performance and metabolism, acutely and chronically. The databases Medline (PubMed), Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Cochrane, and Google Scholar were searched. In total, 767 studies were identified. Of those, 51 studies were finally included. Acutely, exercise on fasting promotes fat oxidation at low and moderate intensities, while protein catabolism is not increased. Performance is not affected in efforts lower than 1 hour. Chronically, fasting generates greater efficiency in fat metabolism and the ability to regulate blood glucose in the long term, although it has not been possible to determine whether these findings improve sports performance. More research is needed in elite athletes, with high training loads and with a periodized approach to fasting.

Keywords:

Fasting. Athletes.
Metabolism. Sports.

Recibido: 05/07/2024 • Aceptado: 01/11/2024

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de interés.

Inteligencia artificial: los autores declaran no haber usado inteligencia artificial (IA) ni ninguna herramienta que use IA para la redacción del artículo.

Pejenaute-Larráyo D, Corbi F, Matas S. Efectos del ayuno intermitente y el rendimiento deportivo: revisión narrativa. *Nutr Hosp* 2025;42(1):153-160

DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.05415>

Correspondencia:

Sergi Matas. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC-Campus Lleida). Universitat de Lleida (UdL). Partida Caparrella, 97. 25192 Lleida
e-mail: smatasg@gencat.cat

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un considerable aumento en el número de estudios que analizan los efectos que el ayuno pueda tener en la salud y el rendimiento deportivo de sus practicantes. El ayuno se define como el acto de abstinencia total o parcial de ingesta de comida, cuya duración puede variar entre las pocas horas y los días o semanas (1). Aunque la gran mayoría de la población realiza diariamente un ayuno nocturno, de una duración que oscila entre las 8 y 12 horas (2), su uso se ha extendido entre la población normal como estrategia terapéutica válida para la prevención y tratamiento de diferentes patologías relacionadas con el síndrome metabólico (3), y como forma de reducir la grasa visceral y de normalizar las concentraciones plasmáticas de glucosa, insulina, colesterol, triglicéridos y numerosos marcadores biológicos relacionados con la aparición de enfermedades crónicas (4-6).

En el caso de la población deportiva, su implantación se ha relacionado con una mayor utilización de las grasas como fuente de energía, lo que permitiría ahorrar otros sustratos energéticos durante el entrenamiento y la competición (7), y con una forma de evitar efectos gastrointestinales adversos (8) y de fomentar la autofagia, la función mitocondrial y el fortalecimiento del sistema inmune (9-11). Además, recientemente se ha propuesto como estrategia para evitar la aparición de lesiones (12), ya que permite reducir la inflamación sistémica y de bajo grado (13,14) y acelerar el proceso de recuperación tras la aparición de una lesión (15).

Pese a la gran cantidad de estudios existentes, hay ciertas lagunas en la literatura a la hora de sistematizar cómo afecta el entrenamiento en ayunas no solo a la composición corporal sino también a los parámetros de rendimiento en las poblaciones deportivas, algo que ha sido insuficientemente explorado en investigaciones anteriores. Aunque el ayuno es conocido por ser una práctica efectiva para aumentar la autofagia y la flexibilidad metabólica, propiciando fenómenos bioquímicos que en teoría pueden mejorar el rendimiento deportivo, no existen estudios que determinen de manera clara y práctica cómo pueden mejorar el rendimiento deportivo estos eventos metabólicos.

Por todo ello, en el presente trabajo se realizará una revisión de la literatura actual con el objetivo de extraer conclusiones sobre la aplicación práctica de las distintas modalidades de ayuno sobre el metabolismo y el rendimiento del deportista.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio descriptivo de revisión narrativa para responder a la pregunta: ¿Son los protocolos de ayuno efectivos para mejorar el metabolismo y el rendimiento en los deportistas?

Se realizó una búsqueda estructurada de artículos científicos publicados hasta la fecha (4 de abril de 2023), utilizando para ello las siguientes bases de datos: Medline (PubMed), Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Cochrane y Google Scholar.

Los términos utilizados fueron: Fasting, Exercise, Performance y Athletic Performance, con la combinación de los operadores booleanos "AND" y "OR", y los términos Ramadan y Review, con el operador booleano "NOT". Se aplicó la estrategia de la bola de nieve para ampliar la búsqueda. La estrategia de búsqueda específica en cada una de las bases de datos se realizó siguiendo las siguientes ecuaciones:

- Medline (PubMed): (((fasting[MeSH Terms]) AND (exercise[Title/Abstract]) AND (athletic performance)) OR ((fasting[Title/Abstract] AND (exercise[Title/Abstract]) AND (athletic performance))) NOT (ramadan[Title/Abstract]) NOT (review).
- Physiotherapy Evidence Database (PEDro): ((fasting[Title/Abstract] AND (exercise[Title/Abstract]) AND (performance[Title/Abstract]))
- Cochrane: ((fasting[Title/Abstract/Keyword]) AND (exercise[Title/Abstract/Keyword])) AND (athletic performance)
- Google Scholar: ((fasting[Title]) AND (exercise[Title])) AND (performance[Title])

Se eliminaron los estudios duplicados. Posteriormente se filtraron los estudios en función de su título y resumen para una posterior revisión del texto completo. La búsqueda de los estudios publicados se realizó por el autor principal de manera independiente (DPL) y su cribado se realizó de manera independiente por todos los autores (DPL, FC y SM), minimizando el sesgo de selección. En caso de discrepancia entre los autores, los estudios se seleccionaron a partir de su texto completo. Cuando el título y el resumen cumplieron con los requisitos, se obtuvo el texto completo de los artículos y se realizó una lectura crítica para determinar si la publicación incluía los criterios de inclusión (DPL y SM de forma independiente). Se recuperaron los artículos seleccionados y los mismos dos autores revisaron cada estudio a partir de su texto completo. Las discrepancias en esta etapa fueron resueltas por el tercer autor (FC). Además, se buscó en las referencias de los artículos seleccionados para identificar otros artículos relevantes (Fig. 1).

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Para diseñar los criterios de inclusión se utilizó la estrategia PICOS (16). La población incluida estuvo formada solo por humanos adultos, la intervención debía contemplar la actividad física como variable de estudio o que esta se realizara en participantes deportistas, y se debían medir el rendimiento deportivo o los parámetros metabólicos relacionados con este.

Se excluyeron los artículos basados en revisiones de la literatura existente, los estudios realizados con participantes con patología y los que analizaron el ayuno durante el Ramadán.

RESULTADOS

Se identificaron un total de 760 estudios en las bases de datos. Además, se incluyeron un total de 7 artículos identificados en otras fuentes, obteniéndose un total de 767 artículos.

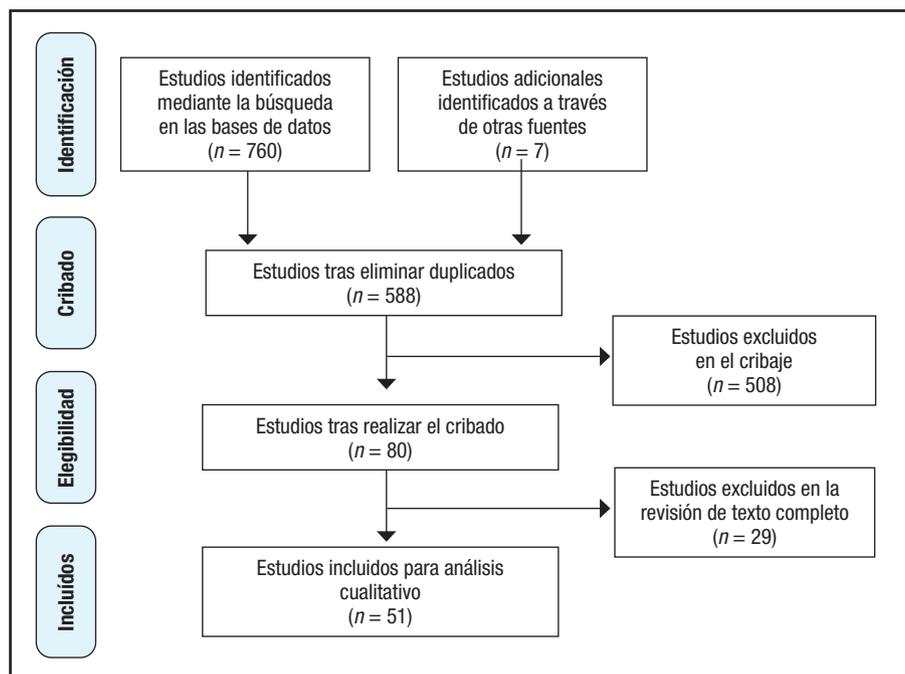


Figura 1.

Diagrama de flujo de la sección de estudios.

A continuación se realizó el cribado, eliminándose los artículos duplicados y los estudios que no cumplían los criterios de inclusión y/o las palabras clave principales seleccionadas para esta revisión narrativa. Tras el cribado inicial se llevó a cabo una revisión más exhaustiva de los estudios para evaluar su elegibilidad. Finalmente se incluyeron 51 estudios para la realización del análisis cualitativo.

Al realizar una revisión narrativa, en el momento de la lectura crítica, todos aquellos artículos que cumplieron con los criterios de inclusión se etiquetaron según cumplieran los criterios de la temática de los diferentes apartados ("metabolismo", "uso de sustratos", "efecto entrenamiento ayunas", "rendimiento").

La evaluación de la calidad metodológica de los artículos se desestimó dado que el presente estudio corresponde a una revisión narrativa.

METABOLISMO Y USO DE SUSTRATOS

Se sabe que el entrenamiento en ayunas induce la creación de adaptaciones metabólicas que podrían tener un impacto en el rendimiento, como son los cambios que se producen en el metabolismo de los hidratos de carbono, los ácidos grasos y las proteínas (17).

Hidratos de carbono

El rendimiento deportivo está estrechamente ligado a la disponibilidad de sustratos energéticos, especialmente el glucógeno. Después de un ayuno nocturno, el hígado mantiene los niveles

de glucosa en sangre mediante la glucogenólisis y la gluconeogénesis (18). El hígado almacena entre 100 y 120 gramos de glucógeno (400-500 calorías), lo que permite producir glucosa hasta 24 horas después de la última ingesta, en ausencia de ejercicio intenso (19). Además, el músculo almacena entre 300 y 600 gramos de glucógeno, contribuyendo también a la energía (20).

Diversos estudios muestran como incluso en los ayunos prolongados, como los de 27 y 36 horas, los niveles de glucosa en sangre no varían significativamente durante ejercicios mantenidos al 70 % del VO_2 max. Sin embargo, el rendimiento disminuye, lo que sugiere que la fatiga en ejercicios de resistencia se debe a factores fisiológicos, psicológicos, metabólicos y hormonales, más que a la hipoglucemia (21).

Por otro lado, en ejercicios de alta intensidad realizados al 86 % del VO_2 max, los niveles de glucosa e insulina son mayores en ayunas (22), aunque estos resultados difieren de los obtenidos por De Bock y cols. (23), quienes sugieren que podrían existir otros factores relacionados con la nutrición que podrían interferir en los resultados.

Ácidos grasos

Uno de los principales motivos por los que los atletas entrenan en ayunas es el aumento en la oxidación de grasas (24). Ejercitarse en ayunas incrementa la tasa de oxidación de las grasas, especialmente en actividades de baja y moderada intensidad (25). Se ha observado como después de 12 horas de ayuno, mejora la capacidad de oxidación de las grasas y la capacidad de realizar actividades a intensidad sub-máxima (26). Por ello, pare-

ce que se producirá una mayor activación del metabolismo de los ácidos grasos a menores intensidades en condiciones de ayuno.

La oxidación de grasas aumenta con la duración del ejercicio y se inicia antes cuando se realiza en ayunas. Sin embargo, a intensidades más altas, las diferencias son menores (27), aunque algunos estudios no han encontrado diferencias significativas (28,29).

El entrenamiento en ayunas también aumenta la movilización de ácidos grasos, lo que eleva su concentración y los convierte en un combustible útil para la recuperación (25). Los triglicéridos intramusculares son una fuente importante de sustrato, ya que contribuyen a la generación de energía durante el ejercicio de intensidad moderada en atletas de resistencia masculinos entrenados después de un ayuno nocturno (30).

Proteínas

Uno de los temas más controvertidos del entrenamiento en ayunas es el metabolismo de las proteínas. Se teme que el ejercicio en ayunas aumente la degradación de proteínas musculares para utilizar aminoácidos como fuente de energía, lo que podría llevar al agotamiento de glucógeno. Sin embargo, hay estrategias que pueden prevenir esta situación (31).

La expresión de ciertos factores y marcadores de procesos catabólicos no aumenta entre 2 y 6 horas después del ejercicio en ayunas, siempre que se consuma una ingesta rica en proteínas y carbohidratos al finalizar. En cambio, si no se ingiere comida tras el ejercicio, se han observado aumentos en la expresión de calpaínas, un marcador de catabolismo proteico (32).

Respecto a la degradación y catabolismo de las proteínas durante el ejercicio, la depleción de glucógeno no parece promover la degradación muscular (33). Además, en reposo, el catabolismo proteico no aumenta hasta las 36 horas y se requieren de 2 a 3 días para observar cambios significativos en la fuente de energía que proviene del glucógeno y de las grasas (31,33). Sin embargo, ejercitarse hasta el agotamiento a una intensidad del 70 % del consumo máximo de oxígeno puede reducir los niveles plasmáticos de aminoácidos de cadena ramificada (BCAA), lo que podría explicar una disminución del rendimiento, a pesar de que las concentraciones de glucosa se mantengan estables (33).

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN AYUNAS SOBRE EL RENDIMIENTO

Los programas de entrenamiento en ayunas de 6 semanas promueven mecanismos fisiológicos y celulares que ayudan a mantener la glucosa plasmática estable a largo plazo, aumentando así la capacidad de mantener la homeostasis sanguínea y de prevenir la fatiga (23).

Al combinar el entrenamiento en ayunas con una dieta hipercalórica y rica en grasas se han observado mejoras en la tolerancia a la glucosa y una mayor expresión de las proteínas relacionadas con su metabolismo. Además, este tipo de entrenamiento parece ser más efectivo para mejorar la sensibilidad a la insulina (34).

Aunque se acepta que el entrenamiento en ayunas mejora el uso de grasas como energía y preserva el glucógeno muscular (7), existen estudios que cuestionan esta mejora cuando se realiza de forma crónica, especialmente cuando la medición se realiza en estado alimentado.

De Bock y cols. (35) y Stannard y cols. (36) al analizar la oxidación de grasas tras entrenamientos en ayunas o en estado alimentado, observaron que no había diferencias significativas en los marcadores de oxidación de las grasas ni en el rendimiento en estado alimentado, ya que el metabolismo de los carbohidratos y el consumo máximo de oxígeno se mantuvieron estables. Sin embargo, se ha observado que las proteínas relacionadas con la oxidación de grasas aumentaron tras el entrenamiento en ayunas, pero no en el alimentado (34). Por otro lado, Hulston y cols. (37) encontraron diferencias significativas en la oxidación de grasas al realizar entrenamientos en ayunas o al doblar sesiones de entrenamiento sin ingesta de alimentos. De hecho, no comer inmediatamente después del ejercicio se relacionó con un aumento en la señalización del metabolismo de ácidos grasos (38).

En cuanto a la capacidad de mantener un esfuerzo a cierta intensidad, se ha observado que el consumo máximo de oxígeno no sufre alteraciones tras 6 semanas de entrenamiento de resistencia en ayunas (27). Además, el entrenamiento en ayunas parece ser más beneficioso para el rendimiento en los deportes de resistencia que en los deportes interválicos de sprint (SIT), mejorando la capacidad para mantener la intensidad durante más tiempo en los ejercicios de resistencia aeróbicos al 100 % del $\dot{V}O_{2,max}$ y el tiempo capaz de mantener la actividad hasta el agotamiento al 85 % del $\dot{V}O_{2,max}$ (39).

Aunque se ha descrito que restringir la ventana alimentaria puede llevar a una disminución espontánea de la ingesta de energía y a una reducción autorreportada de la masa corporal (40,41), esto no parece afectar a los parámetros de monitoreo del entrenamiento físico, como la carga, la duración, la intensidad o la frecuencia del entrenamiento (42).

Sin embargo, es importante considerar que las cargas de entrenamiento en la mayoría de las intervenciones fueron inferiores a las de los atletas de resistencia de élite (43), lo que plantea la incógnita de cómo podría influir un aumento de estas cargas en el rendimiento de estos deportistas.

La capacidad de realizar acciones de alta intensidad no parece verse afectada por el ayuno, ni tampoco el tiempo hasta el agotamiento. Terada y cols. (39) no encontraron disminuciones del consumo máximo de oxígeno después de un programa de entrenamiento de intervalos de sprint (SIT) de 4 semanas.

La potencia anaeróbica y el tiempo hasta el agotamiento no parecen verse afectados por el entrenamiento en ayunas, siempre que el programa dure más de 4 días (44). Es importante considerar las variaciones de la ingesta de energía o de la composición corporal entre los grupos ya que, en los estudios donde no hubo diferencias de rendimiento, tampoco hubo diferencias en la ingesta calórica (39,44,45).

Asimismo, se observan mejoras del rendimiento en los esfuerzos de resistencia al 85 % del $\dot{V}O_{2,max}$ tras un programa de

intervalos de sprint (SIT). Sin embargo, el rendimiento en el SIT se redujo en el grupo en ayuno (39). Así, aunque el rendimiento agudo en ayunas parece disminuir en los esfuerzos de sprint, este tipo de ejercicio podría ser útil para preparar competiciones de resistencia.

Se han observado mejoras de la capacidad de salto en mujeres activas tras un período de entrenamiento en ayunas (46). Tinsley y cols. (41) también encontraron que las mujeres activas que siguieron una dieta de 16/8 durante 8 semanas y entrenaron en ayunas, mejoraron la hipertrofia muscular y la fuerza, de forma similar al grupo sin restricción de tiempo.

DISCUSIÓN

A raíz de lo analizado en este estudio, podemos afirmar que el ayuno se presenta como una herramienta útil a la hora de mejorar la composición corporal, no solo por su capacidad para promover la reducción de la masa grasa sino también como estrategia para mantener la masa magra (41). No obstante, lo que resulta beneficioso en los deportes que exigen máxima potencia en relación al peso corporal puede ser contraproducente en las competiciones donde el rendimiento depende de la fuerza absoluta o del volumen corporal.

Aunque el ayuno es efectivo para aumentar la autofagia y la flexibilidad metabólica, no hay estudios claros que demuestren cómo mejoran estos cambios el rendimiento deportivo. En cambio, sí se ha visto que estar las primeras o últimas horas del día sin ingerir alimentos no interfiere en la capacidad de rendimiento, ni aumenta el catabolismo proteico durante las horas en que no se ingiere comida (47,48).

Tras un ayuno nocturno, la cantidad total de glucógeno hepático se ve disminuido con respecto a las condiciones normales, en las que este se incrementa a las 3-4 horas tras la alimentación (18). Sin embargo, existen distintos eventos metabólicos que evitan la aparición de una hipoglucemia y que, por lo menos durante la primera hora de ejercicio físico, mantienen intacto el rendimiento deportivo (49). De hecho, se ha visto que realizar un ejercicio de 24 a 36 horas de ayuno no conlleva riesgo de generar hipoglucemia (21,33).

En los ejercicios de baja y moderada intensidad, las concentraciones de ácidos grasos libres y los distintos marcadores de oxidación de las grasas se ven aumentados al realizarse en ayunas, lo cual se produce tanto durante, como después del ejercicio (25,26). Sin embargo, a intensidades elevadas, la tasa de lipólisis se ve incrementada de manera similar a las condiciones de alimentación (34). Por lo tanto, parece ser que el uso del entrenamiento en ayunas con el objetivo de mejorar la oxidación de grasas está justificado cuando la intensidad del ejercicio es moderada o baja.

Comenzar el entrenamiento con una menor cantidad de glucógeno hepático parece no aumentar el catabolismo de las proteínas durante el ejercicio en ayunas (31). De hecho, entrenar en ayunas aumenta la capacidad de desfosforilar la proteína eEF2, propiciando así una respuesta aumentada en la reactivación de

la síntesis de proteínas musculares tras el ejercicio, lo que mejoraría la adaptación muscular (50). Sin embargo, en ausencia de ejercicio vigoroso se observa un ligero incremento de los aminoácidos como fuente energética a partir de las 36 horas, siendo significativo a las 48 y 72 horas (31,33). Por lo tanto, cabe pensar que, al practicar ejercicio físico de alta intensidad tras más de uno o varios días de ayuno, existirá un aumento del catabolismo proteico con fines energéticos, lo cual sería desaconsejable en términos de mejora del rendimiento deportivo.

Por ello, parece ser que lo mejor para mantener una elevada síntesis de proteínas y maximizar la recuperación tras ejercitarse en ayunas es alimentarse inmediatamente después del ejercicio con una comida rica en proteínas y carbohidratos (32,51). Además, en base a los hallazgos expuestos, también es lógico pensar que hay que evitar realizar entrenamientos de larga duración y alta intensidad sin haberse alimentado previamente ni durante el ejercicio, debido al riesgo de aumentar la lipólisis conforme el glucógeno hepático y muscular se agota.

Es esperable que los cambios metabólicos que desencadenan el ayuno a corto plazo originen cambios en la capacidad del deportista para rendir de manera aguda en el ejercicio físico. De esta forma, en los ejercicios de resistencia, en los esfuerzos de menos de 60 minutos, se ha observado que no existen diferencias entre realizar el ejercicio en condiciones de ayuno nocturno y alimentado (27,39,52). Sin embargo, en los ejercicios de duración mayor, la alimentación previa al ejercicio aumenta el rendimiento (53). Por lo tanto, ejercitarse en ayunas en deportes de resistencia, bien sea a baja o alta intensidad, parece tener un impacto nulo sobre el rendimiento, siempre y cuando el ejercicio no se extienda por más de 60 minutos.

Para el ejercicio de alta intensidad y anaeróbico, los resultados son contradictorios aunque, en líneas generales, parece ser que el rendimiento se ve aumentado en condiciones de alimentación previa a la realización de estos entrenamientos (54,55). Asimismo, cuando el ejercicio físico se realiza tras un ayuno de más de 24 horas, el rendimiento deportivo también tiende a verse reducido (56).

Es importante tener en cuenta las adaptaciones crónicas al entrenamiento en ayunas, dado que uno de sus principales usos es su capacidad para aumentar el metabolismo de las grasas a largo plazo. Aunque se piensa que el metabolismo de la glucosa se verá disminuido tras un programa de entrenamientos en ayunas, se ha visto que este promueve la oxidación de las grasas mientras mantiene intacta la capacidad de degradación del glucógeno (27,35). Este hallazgo es importante ya que sugiere que el entrenamiento en ayunas favorece la oxidación de las grasas y mantiene la producción de ATP mediante la glucogenólisis, permitiendo finalizar la actividad con mayor cantidad de glucógeno muscular. Además, el ayuno también parece mejorar el control de la glucemia durante el ejercicio físico (23), lo cual está relacionado con una mejora de la flexibilidad metabólica, así como favorecer un aumento de la sensibilidad a la insulina (34), mejorando la eficiencia del metabolismo de la glucosa, lo que sugiere que existen beneficios a largo plazo en el metabolismo de la glucosa tras un programa de entrenamientos en ayunas.

Sin embargo, no existe unanimidad a la hora de afirmar que los efectos positivos sobre el metabolismo de los ácidos grasos a corto plazo puedan verse aumentados de manera crónica. Contrariamente, sí existe suficiente evidencia científica como para afirmar que un período de entrenamientos en ayunas generará una mejora del metabolismo y del rendimiento a largo plazo (37). De hecho, los estudios sugieren que es necesario un período de adaptación al ayuno de, como mínimo, 4 días para rendir en ayunas de la misma forma que se hace de manera alimentada (44). Es por ello que, si se tiene pensado realizar una competición en ayunas, es necesario realizar un período de acomodación de entre 4 y 10 días para no experimentar una disminución del rendimiento.

No obstante, a pesar de las mejoras de rendimiento observadas en condiciones de ayuno cuando, durante la competición, se consumen carbohidratos, tanto antes como después, estas pueden no ser relevantes (35,36).

El entrenamiento en ayunas en los deportes de resistencia parece aumentar o mantener estable el rendimiento deportivo con respecto al entrenamiento alimentado. Tras un período de entrenamientos en ayunas se ha observado que mejora la capacidad de mantener la intensidad durante más tiempo en un ejercicio de resistencia aeróbica al 100 % del $\dot{V}O_{2max}$ y en el tiempo hasta el agotamiento al 85 % del $\dot{V}O_{2max}$ (39); también se ha visto que el consumo máximo de oxígeno experimenta las mismas mejoras frente al entrenamiento alimentado (27). En resumidas cuentas, incluir entrenamientos en ayunas en la periodización deportiva de atletas de resistencia amateurs puede resultar positivo para el rendimiento.

En los deportes de alta intensidad o de fuerza, los resultados son más dispares, reportando generalmente mejores o similares resultados con respecto al entrenamiento alimentado, observándose así mejoras de la potencia anaeróbica (44), de la fuerza muscular (41) y de la capacidad de salto (46). No obstante, también se ha observado una disminución del rendimiento en el SIT (39). Sin embargo, la tendencia de los estudios indica que, tras un programa de ejercicios en ayunas o en estado alimentado, y pese a que pueda parecer que entrenar en ayunas reporta mayores mejoras, no existen grandes diferencias de rendimiento en los deportes de alta intensidad o de fuerza, siempre y cuando, en caso de realizar la competición en condiciones de ayuno, se haya realizado una adaptación al ejercicio en ayunas.

Desafortunadamente faltan estudios realizados en poblaciones de élite o que impliquen cargas de entrenamiento similares a las que puede realizar un atleta en su preparación competitiva, por lo que la presente revisión tiene la limitación de no haber hallado suficiente literatura como para poder afirmar con exactitud las implicaciones que puede tener un programa de ayuno, o de entrenamientos en ayunas, en las poblaciones deportivas de alto nivel. Asimismo, se necesitan más investigaciones que analicen el comportamiento de las grasas en condiciones de alimentación tras un período de entrenamientos en ayunas.

CONCLUSIONES

En conclusión, el ayuno actúa como un estímulo hormético capaz de promover adaptaciones metabólicas, y se presenta como una estrategia válida en la mejora de la composición corporal. Se ha visto que, en ejercicios de baja y moderada intensidad, el entrenamiento en ayunas con el objetivo de mejorar la oxidación de grasas está justificado, mientras que a intensidades altas la tasa de oxidación se eleva de manera similar en condiciones de alimentación. Sumado a ello, el catabolismo de las proteínas no experimenta un aumento en las primeras 24 horas del ayuno, ni siquiera durante el ejercicio. Además, el rendimiento deportivo en estado de ayunas es similar al estado alimentado en ejercicios de una duración inferior a 60 minutos, mientras que la alimentación previa al ejercicio aumenta el rendimiento en duraciones superiores a la hora. El entrenamiento en ayunas genera una mayor eficiencia en el metabolismo de las grasas y en la capacidad para regular la glucemia a largo plazo. Aunque no se ha podido determinar si estos hallazgos mejoran el rendimiento deportivo en condiciones de alimentación previa, se necesitan más investigación en deportistas de élite, durante la competición y con cargas de entrenamiento elevadas, así como estudios que contemplen el ayuno en un enfoque periodizado.

RECOMENDACIONES

A partir del análisis realizado en el presente trabajo se desprenden toda una serie de posibles aplicaciones prácticas y recomendaciones que podrían ser de utilidad para deportistas y entrenadores. En general, se ha demostrado que el entrenamiento en ayunas puede ser una herramienta eficaz para mejorar la composición corporal y optimizar el metabolismo de los sustratos energéticos, especialmente en los deportes de resistencia. Sin embargo, es crucial tener en cuenta la naturaleza del deporte y el contexto específico en el que este se desarrolla para aprovechar al máximo estas adaptaciones. Dichas recomendaciones podrían ser las siguientes:

1. *Deportes de resistencia*: el entrenamiento en ayunas resulta particularmente útil para deportistas de resistencia, dado que promueve una mayor oxidación de grasas y preserva el glucógeno muscular, lo que puede ser beneficioso en esfuerzos prolongados realizados a baja o moderada intensidad. Para competiciones que requieran mantener el esfuerzo durante largos periodos, se recomienda incorporar sesiones de entrenamiento en ayunas en la planificación deportiva, particularmente en fases preparatorias. Todo ello va a permitir una mayor movilización de la vía lipídica, disminuyendo el gasto energético generado en otras vías energéticas como la glucolítica.
2. *Deportes de fuerza y alta intensidad*: los efectos del entrenamiento en ayunas en los deportes de alta intensidad o fuerza parecen ser más heterogéneos. Si bien se ha observado un mantenimiento o incluso un cierto grado de mejora en la capacidad de generar potencia anaeróbica y fuerza

muscular en algunos tipos de deportes, en otros parece influir de forma negativa, especialmente cuando los deportes son de alta intensidad o de esfuerzos interválicos. Por ello recomendamos ser cautos en su utilización en este tipo de deportes.

3. *Entrenamiento periodizado*: es fundamental incluir un período de adaptación al entrenamiento en ayunas, que debe durar al menos entre 4 y 10 días. Esta adaptación puede minimizar las posibles reducciones en el rendimiento cuando se entrenan en condiciones de ayuno. Si se planea competir en estado de ayunas, esta preparación será clave para evitar disminuciones en el rendimiento.
4. *Nutrición post-entrenamiento*: inmediatamente después del ejercicio en ayunas, es importante ingerir una comida rica en proteínas y carbohidratos para maximizar la síntesis de proteínas musculares y asegurar una adecuada recuperación. Evitar hacerlo podría promover el catabolismo muscular y afectar negativamente al rendimiento.
5. *Duración de las sesiones*: las sesiones de ejercicio en ayunas no deben exceder los 60 minutos, especialmente cuando se trata de ejercicios de alta intensidad. Más allá de este umbral, el rendimiento puede verse comprometido si no se ha realizado una alimentación adecuada previa o durante el ejercicio.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

1. *Efectos a largo plazo en atletas de élite*: aunque existen estudios que sugieren beneficios del entrenamiento en ayunas en atletas amateurs, faltan investigaciones que analicen los efectos en deportistas de élite, con cargas de entrenamiento más elevadas y durante periodos prolongados. Evaluar cómo la intensidad y el volumen del entrenamiento pueden influir en los resultados del ayuno en esta población sería interesante.
2. *Impacto en el rendimiento anaeróbico*: se requieren estudios adicionales para evaluar los efectos del entrenamiento en ayunas en los deportes que dependan principalmente de la energía anaeróbica, como son los deportes de equipo y aquellos que impliquen esfuerzos de alta intensidad en cortos periodos.
3. *Optimización de la nutrición posterior*: es necesaria la realización de nuevos estudios en los que se analice la combinación óptima de macronutrientes post-entrenamiento, para maximizar de esta forma la recuperación y las adaptaciones musculares después de entrenar en ayunas, especialmente en relación con la ingesta de proteínas y carbohidratos, lo que podría suponer la creación de pautas más específicas y efectivas para los atletas.
4. *Adaptación metabólica individual*: dado que diversos factores individuales, como la genética o la microbiota intestinal, pueden influir de forma directa en la respuesta al entrenamiento en ayunas, se hace necesario analizar la respuesta específica generada por el ayuno en cada deportista, creando recomendaciones personalizadas según las características fisiológicas de cada deportista.

En resumen, el entrenamiento en ayunas es una herramienta poderosa cuando se utiliza de manera estratégica y personalizada. Sin embargo, su uso debe ajustarse de acuerdo con los objetivos específicos del deporte y las características individuales del atleta. Las recomendaciones prácticas, junto con futuras investigaciones, permitirán optimizar su aplicación en el ámbito deportivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Devrim-Lanpir A, Hill L, Knechtle B. Efficacy of popular diets applied by endurance athletes on sports performance: beneficial or detrimental? A narrative review. *Nutrients* 2021;13(2):1-40. DOI: 10.3390/nu13020491
2. Secor SM, Carey HV. Integrative physiology of fasting. *Compr Physiol* 2016;6(2):773-825. DOI: 10.1002/cphy.c150013
3. Harris L, Hamilton S, Azevedo LB, Olajide J, De Brún C, Waller G, et al. Intermittent fasting interventions for treatment of overweight and obesity in adults: a systematic review and meta-analysis. *JBI Database System Rev Implement Rep* 2018;16(2):507-47. DOI: 10.11124/JBISRIIR-2016-003248
4. Arnason TG, Bowen MW, Mansell KD. Effects of intermittent fasting on health markers in those with type 2 diabetes: A pilot study. *World J Diabetes* 2017;8(4):154. DOI: 10.4239/wjcd.v8.i4.154
5. Ganesan K, Habboush Y, Sultan S. Intermittent Fasting: The Choice for a Healthier Lifestyle. *Cureus* 2018;10(7):e2947. DOI: 10.7759/cureus.2947
6. Tinsley GM, La Bounty PM. Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutr Rev* 2015;73(10):661-74. DOI: 10.1093/nutrit/nuv041
7. Rothschild JA, Kilding AE, Plews DJ. Prevalence and determinants of fasted training in endurance athletes: A survey analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2020;30(5):345-56. DOI: 10.1123/IJSNEM.2020-0109
8. Jeukendrup AE. Training the gut for athletes. *Sports Medicine* 2017;47(Suppl 1):101-10. DOI: 10.1007/s40279-017-0690-6
9. Shabkhizan R, Haiaty S, Moslehian MS, Bazmani A, Sadeghsoltani F, Saghaei Bagheri H, et al. The beneficial and adverse effects of autophagic response to caloric restriction and fasting. *Advances in Nutrition* 2023;14(5):1211-25. DOI: 10.1016/j.advnut.2023.07.006
10. Jamshed H, Beyl RA, Manna DLD, Yang ES, Ravussin E, Peterson CM. Early time-restricted feeding improves 24-hour glucose levels and affects markers of the circadian clock, aging, and autophagy in humans. *Nutrients* 2019;11(6):1234. DOI: 10.3390/nu11061234
11. Longo VD, Panda S. Fasting, circadian rhythms, and time-restricted feeding in healthy lifespan. *Cell Metab* 2016;23(6):1048-59. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.06.001
12. Correia JM, Santos I, Pezarat-Correia P, Minderico C, Mendonca GV. Effects of intermittent fasting on specific exercise performance outcomes: A systematic review including meta-analysis. *Nutrients* 2020;12(5):1390. DOI: 10.3390/nu12051390
13. Minihane AM, Vinoy S, Russell WR, Baka A, Roche HM, Tuohy KM, et al. Low-grade inflammation, diet composition and health: Current research evidence and its translation. *British Journal of Nutrition* 2015;114(7):999-1012. DOI: 10.1017/S0007114515002093
14. Mindikoglu AL, Abdulsada MM, Jain A, Choi JM, Jalal PK, Devaraj S, et al. Intermittent fasting from dawn to sunset for 30 consecutive days is associated with anticancer proteomic signature and upregulates key regulatory proteins of glucose and lipid metabolism, circadian clock, DNA repair, cytoskeleton remodeling, immune system and cognitive function in healthy subjects. *J Proteomics* 2020;217:103645. DOI: 10.1016/j.jprot.2020.103645
15. Knechtle B, Nikolaidis PT. Physiology and pathophysiology in ultra-marathon running. *Front Physiol* 2018;9(JUN):634. DOI: 10.3389/fphys.2018.00634
16. Cochrane Collaboration. Unit Five: Asking an Answerable Question. In: Higgins J, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page M, et al., editors. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* version 64; 2023. Available from: http://ph.cochrane.org/sites/ph.cochrane.org/files/uploads/Unit_Five.pdf
17. Levy E, Chu T. Intermittent Fasting and Its Effects on Athletic Performance: A Review. *Curr Sports Med Rep* 2019;18(7):266-9. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000614.
18. Petersen MC, Vatner DF, Shulman GI. Regulation of hepatic glucose metabolism in health and disease. *Nat Rev Endocrinol* 2017;13(10):572-87. DOI: 10.1038/nrendo.2017.80

19. Børsheim E, Cree MG, Tipton KD, Elliott TA, Aarsland A, Wolfe RR. Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 2004;96(2):674-8. DOI: 10.1152/jap-physiol.00333.2003
20. Williams C, Rollo I. Carbohydrate nutrition and team sport performance. *Sports Medicine* 2015;45(Suppl 1):13-22. DOI: 10.1007/s40279-015-0399-3
21. Nieman DC, Carlson KA, Brandstater ME, Naegele RT, Blankenship JW. Running endurance in 27-h-fasted humans. *J Appl Physiol* (1985) 1987;63(6):2502-9. DOI: 10.1152/jap-physiol.1987.63.6.2502
22. Loy SF, Conlee RK, Winder WW, Nelson AG, Arnall DA, Fisher AG. Effects of 24-hour fast on cycling endurance time at two different intensities. *J Appl Physiol* (1985) 1986;61(2):654-9. DOI: 10.1152/jap-physiol.1986.61.2.654
23. De Bock K, Richter EA, Russell AP, Eijnde BO, Derave W, Ramaekers M, et al. Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. *Journal of Physiology* 2005;564(2):649-60. DOI: 10.1113/jphysiol.2005.083170
24. Rothschild JA, Kilding AE, Plews DJ. What should I eat before exercise? Pre-exercise nutrition and the response to endurance exercise: Current prospective and future directions. *Nutrients* 2020;12(11):1-23. DOI: 10.3390/nu12113473
25. Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. Substrate metabolism when subjects are fed carbohydrate during exercise. *Am J Physiol* 1999;276(5):E828-35. DOI: 10.1152/ajpendo.1999.276.5.E828
26. Andersson Hall U, Edin F, Pedersen A, Madsen K. Whole-body fat oxidation increases more by prior exercise than overnight fasting in elite endurance athletes. *Appl Physiol Nutr Metab* 2016;41(4):430-7. DOI: 10.1139/apnm-2015-0452
27. Van Proeyen K, Szlufcik K, Nielens H, Ramaekers M, Hespel P. Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *J Appl Physiol* 2011;110(1):236-45. DOI: 10.1152/jap-physiol.00907.2010
28. Paoli A, Marcolin G, Zonin F, Neri M, Sivieri A, Pacelli QF. Exercising fasting or fed to enhance fat loss? Influence of food intake on respiratory ratio and excess postexercise oxygen consumption after a bout of endurance training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011;21(1):48-54. DOI: 10.1123/ijsnem.21.1.48
29. Vilaça-Alves J, Muller F, Rosa C, Payan-Carreira R, Lund R, Matos F, et al. Cardiorespiratory, enzymatic and hormonal responses during and after walking while fasting. *PLoS One* 2018;13(3):e0193702. DOI: 10.1371/journal.pone.0193702
30. van Loon LJC, Koopman R, Stegen JHCH, Wagenmakers AJM, Keizer HA, Saris WHM. Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state. *Journal of Physiology* 2003;553(2):611-25. DOI: 10.1113/jphysiol.2003.052431
31. Laurens C, Grundler F, Damiot A, Chery I, Le Maho AL, Zahariev A, et al. Is muscle and protein loss relevant in long-term fasting in healthy men? A prospective trial on physiological adaptations. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2021;12(6):1690-703. DOI: 10.1002/jcsm.12766
32. Harber MP, Konopka AR, Jemiolo B, Trappe SW, Trappe TA, Reidy PT. Muscle protein synthesis and gene expression during recovery from aerobic exercise in the fasted and fed states. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2010;299(5):R1254-62. DOI: 10.1152/ajpregu.00348.2010
33. Maughan RJ, Gleeson M. Influence of a 36 h fast followed by refeeding with glucose, glycerol or placebo on metabolism and performance during prolonged exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 1988;57(5):570-6. DOI: 10.1007/BF00418464
34. Van Proeyen K, Szlufcik K, Nielens H, Pelgrim K, Deldicque L, Hesselink M, et al. Training in the fasted state improves glucose tolerance during fat-rich diet. *Journal of Physiology* 2010;588(21):4289-302. DOI: 10.1113/jphysiol.2010.196493
35. De Bock K, Derave W, Eijnde BO, Hesselink MK, Koninckx E, Rose AJ, et al. Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *J Appl Physiol* 2008;104(4):1045-55. DOI: 10.1152/jap-physiol.01195.2007
36. Stannard SR, Buckley AJ, Edge JA, Thompson MW. Adaptations to skeletal muscle with endurance exercise training in the acutely fed versus overnight-fasted state. *J Sci Med Sport* 2010;13(4):465-9. DOI: 10.1016/j.jsams.2010.03.002
37. Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philip A, Baar K, et al. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42(11):2046-55. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181dd5070
38. Fritzen AM, Lundsgaard AM, Kiens B. Tuning fatty acid oxidation in skeletal muscle with dietary fat and exercise. *Nat Rev Endocrinol* 2020;16(12):683-96. DOI: 10.1038/s41574-020-0405-1
39. Terada T, Toghi Eshghi SR, Liubaerijijn Y, Kennedy M, Myette-Côté É, Fletcher K, et al. Overnight fasting compromises exercise intensity and volume during sprint interval training but improves high-intensity aerobic endurance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2019;59(3):357-65. DOI: 10.23736/S0022-4707.18.08281-6
40. Clayton DJ, Barutcu A, Machin C, Stensel DJ, James LJ. Effect of breakfast omission on energy intake and evening exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47(12):2645-52. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000702
41. Tinsley GM, Moore ML, Graybeal AJ, Paoli A, Kim Y, Gonzales JU, et al. Time-restricted feeding plus resistance training in active females: A randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition* 2019;110(3):628-40. DOI: 10.1093/ajcn/nqz126
42. Brady AJ, Langton HM, Mulligan M, Egan B. Effects of 8 wk of 16:8 time-restricted eating in male middle- and long-distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2021;53(3):633-42. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002488
43. Stellingwerf T. Case study: Nutrition and training periodization in three elite marathon runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2012;22(5):392-400. DOI: 10.1123/ijsnem.22.5.392.com
44. Naharudin MN Bin, Yusof A. The effect of 10 days of intermittent fasting on Wingate anaerobic power and prolonged high-intensity time-to-exhaustion cycling performance. *Eur J Sport Sci* 2018;18(5):667-76. DOI: 10.1080/17461391.2018.1438520
45. Gonzalez AE, Waldman HS, Abel MG, McCurdy KW, McAllister MJ. Impact of time restricted feeding on fitness variables in professional resistance trained firefighters. *J Occup Environ Med* 2021;63(4):343-9. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002144
46. Martínez-Rodríguez A, Rubio-Arias JA, García-De Frutos JM, Vicente-Martínez M, Gunnarsson TP. Effect of high-intensity interval training and intermittent fasting on body composition and physical performance in active women. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(12):6431. DOI: 10.3390/ijerph18126431
47. Soeters MR, Lammers NM, Dubbelhuis PF, Ackermans MT, Jonkers-Schutema CF, Fliers E, et al. Intermittent fasting does not affect whole-body glucose, lipid, or protein metabolism. *American Journal of Clinical Nutrition* 2009;90(5):1244-51. DOI: 10.3945/ajcn.2008.27327
48. Wang Y, Wu R. The Effect of Fasting on Human Metabolism and Psychological Health. *Dis Markers* 2022;2022:5653739. DOI: 10.1155/2022/5653739
49. de Lima FD, Correia ALM, Teixeira D da S, da Neto DVS, Fernandes ISG, Viana MBX, et al. Acute metabolic response to fasted and postprandial exercise. *Int J Gen Med* 2015;8:255-60. DOI: 10.2147/IJGM.S87429
50. Van Proeyen K, De Bock K, Hespel P. Training in the fasted state facilitates re-activation of eEF2 activity during recovery from endurance exercise. *Eur J Appl Physiol* 2011;111(7):1297-305. DOI: 10.1007/s00421-010-1753-7
51. Burke L. Fasting and recovery from exercise. *Br J Sports Med* 2010;44(7):502-8. DOI: 10.1136/bjism.2007.071472
52. Ferguson LM, Rossi KA, Ward E, Jadwin E, Miller TA, Miller WC. Effects of caloric restriction and overnight fasting on cycling endurance performance. *J Strength Cond Res* 2009;23(2):560-70. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31818f058b
53. Learsi SK, Ghiarone T, Silva-Cavalcante MD, Andrade-Souza VA, Ataíde-Silva T, Bertuzzi R, et al. Cycling time trial performance is improved by carbohydrate ingestion during exercise regardless of a fed or fasted state. *Scand J Med Sci Sports* 2019;29(5):651-62. DOI: 10.1111/sms.13393
54. Cherif A, Meeusen R, Farooq A, Ryu J, Fenneni MA, Nikolovski Z, et al. Three days of intermittent fasting: Repeated-sprint performance decreased by vertical-stiffness impairment. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12(3):287-94. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0125
55. Galloway SDR, Lott MJE, Toulouse LC. Preexercise carbohydrate feeding and high-intensity exercise capacity: Effects of timing of intake and carbohydrate concentration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2014;24(3):258-66. DOI: 10.1123/ijsnem.2013-0119
56. Solianik R, Sujeta A, Terentjeviene A, Skurvydas A. Effect of 48h fasting on autonomic function, brain activity, cognition, and mood in amateur weight lifters. *Biomed Res Int* 2016;2016:1503956. DOI: 10.1155/2016/1503956