

**EFFECTOS DEL AYUNO NOCTURNO (8-14 HORAS) EN ADAPTACIONES
ENERGÉTICAS EN ATLETAS DE RESISTENCIA Y SUJETOS FISICAMENTE
ACTIVOS: REVISIÓN DE LITERATURA**

DANIELA PÉREZ OTÁLORA

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial para optar al título de

NUTRICIONISTA DIETISTA

DIRECTORA DE TRABAJO DE GRADO

MÓNICA MARÍA FLÓREZ ESPITIA N.D.

ASESORA

MERCEDES MORA PLAZAS N.D.

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA**

Bogotá, D. C. Noviembre de 2020

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de julio de 1946:

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas, el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

**EFFECTOS DEL AYUNO NOCTURNO (8-14 HORAS) EN LAS ADAPTACIONES
ENERGÉTICAS EN ATLETAS DE RESISTENCIA Y SUJETOS FISICAMENTE
ACTIVOS: REVISIÓN DE LITERATURA.**

DANIELA PÉREZ OTÁLORA

APROBADO

MÓNICA MA. FLÓREZ-C.

Mónica María Flórez Espitia
Nutricionista Dietista MSc
Directora

Mercedes Mora P.

Mercedes Mora Plazas
Nutricionista Dietista MSc
Asesora

Dayssy Yineth Díaz Betancourt

Dayssy Yineth Díaz Betancourt
Nutricionista Dietista MSc
Jurado

**EFFECTOS DEL AYUNO NOCTURNO (8-14 HORAS) EN LAS ADAPTACIONES
ENERGÉTICAS EN ATLETAS DE RESISTENCIA Y SUJETOS FÍSICAMENTE
ACTIVOS: REVISIÓN DE LITERATURA.**

DANIELA PEREZ OTALORA

APROBADO

Concepción Judith Puerta
Bacterióloga PhD
Decana de Facultad

Luisa Fernanda Tovar
Nutricionista Dietista MSc
Director de Carrera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios, por protegerme y darme las fuerzas para superar los obstáculos que se me han presentado a lo largo de la vida. A mi papá, hermana y abuelos, quienes gracias a sus enseñanzas han contribuido a mi crecimiento personal y profesional siempre desde su paciencia, honestidad y amor. A mi mamá, por hacer de mí una mejor persona, a través de sus consejos, confianza, dedicación y amor incondicional

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por ayudarme a culminar uno más de mis proyectos.

Agradezco a mi directora Mónica Flórez y a mi asesora Mercedes Mora, por sus orientaciones en el proceso de la elaboración de este trabajo de grado y por encaminarme siempre a seguir aprendiendo y construyendo en mi formación académica.

A mi mamá, mi ángel y mi ejemplo a seguir, agradezco infinitamente su apoyo incondicional en cada uno de los momentos de mi vida, por su sabiduría, por guiarme y brindarme esa voz de aliento y apoyo desde la comprensión. Gracias por su inmenso amor y dedicación.

A mi papá, por guiarme, por su amor incondicional y esfuerzo y por estar siempre allí, para orientarme, gracias por ser parte importante en mi formación académica y personal

A mi hermana, por sus recomendaciones, consejos, colaboración, cariño, amor y por su incondicional ayuda.

A mi amiga Sofía Ramírez, por ser mi confidente, por su apoyo en el transcurso de la carrera sin esperar nada a cambio, por compartir conmigo sus conocimientos, alegrías y tristezas.

Agradezco a Hernán Morales, bibliotecólogo de la facultad de Ciencias de la PUJ, por su buena disposición y colaboración en el proceso de búsqueda bibliográfica.

A la PUJ, por facilitar y proporcionar los medios para contribuir en mi desarrollo personal y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 14 |
| 2.1. Definición de ayuno | 14 |
| 2.1.1. Tipos ayunos | 14 |
| 2.2. Definición sujetos físicamente activos y atletas de resistencia | 15 |
| 2.2.1. Clasificación de los niveles de actividad física | 16 |
| 2.2.2. Intensidad del ejercicio aeróbico y su clasificación | 16 |
| 2.2.3. Métodos para estimar la intensidad del ejercicio de resistencia | 17 |
| 2.3 Sustratos energético..... | 18 |
| 2.3.1. Coeficiente respiratorio o índice respiratorio (RQ)..... | 18 |
| 2.3.2. Metabolismo energético durante el ejercicio | 19 |
| 2.3.3. Respuesta metabólica durante el ayuno | 20 |
| 2.4. Adaptaciones metabólicas en atletas de resistencia y sujetos entrenados | 22 |
| 3. FORMULACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 23 |
| 3.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 23 |
| 3.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 24 |
| 4. OBJETIVOS | 25 |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL..... | 25 |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 26 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 26 |
| 5.1. Diseño de la investigación | 26 |
| 5.2. Métodos | 26 |
| 5.2.1. Criterios para la selección de los estudios | 26 |
| 5.2.2. Estrategia de búsqueda..... | 27 |
| 5.2.3. Proceso de búsqueda | 27 |
| 5.2.4. Recolección y análisis de la información extraída de los artículos seleccionados: | 28 |
| 6. RESULTADOS..... | 28 |
| 6.1. Características de la muestra | 28 |
| 6.2. Características de los estudios | 30 |
| 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 38 |

| | |
|--------------------------|----|
| 8. CONCLUSIONES | 45 |
| 9. LIMITACIONES..... | 46 |
| 10. RECOMENDACIONES..... | 46 |
| 11. REFERENCIAS..... | 47 |
| 12. ANEXOS | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Descriptores de búsqueda en las bases de datos seleccionadas. | 27 |
| Tabla 2. Matriz de las características y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión | 28 |
| Tabla 3. Adaptaciones energéticas durante el entrenamiento en ayuno nocturno en sujetos entrenados. | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de artículos para la presente revisión | 29 |
|--|----|

RESUMEN

Uno de los grandes propósitos de los atletas de resistencia y sujetos activos que practican deportes de resistencia, es adquirir óptimas condiciones a nivel metabólico, con el fin de obtener un mejor desempeño en los eventos deportivos. En este contexto, últimamente la ciencia de nutrición deportiva se ha interesado por estudiar diferentes estrategias de entrenamiento e ingesta dietética con el fin de generar adaptaciones energéticas en el músculo esquelético para facilitar la producción de energía a través de la oxidación de grasas durante ejercicios de larga duración, una de estas estrategias es el entrenamiento en ayunas. El propósito de este estudio fue describir los efectos del ayuno nocturno (8-14h) en las adaptaciones energéticas en sujetos físicamente activos y atletas de resistencia. Mediante una revisión de literatura de tipo descriptiva se seleccionaron 12 estudios referentes a la respuesta energética sobre el entrenamiento en ayuno nocturno, publicados entre 2000 y 2020 en EbscoHost, Scopus, PubMed, Web of Science y el buscador Google Scholar. Dentro de los efectos del entrenamiento en ayunas más mencionados en la literatura fue, mayor oxidación de grasas durante y después del ejercicio independientemente de la intensidad de este. En conclusión, al entrenar en esta condición hay una respuesta metabólica diferencial, de mayor eficiencia en la oxidación de grasas durante el ejercicio, pero también un aumento en algunos casos y en otros sin cambios en las reservas de CHO en el músculo esquelético después del ejercicio, sin impactar en el catabolismo muscular si se consume alimento después de la sesión de entrenamiento. Estos son aspectos relevantes que contribuyen a mejorar el rendimiento del ejercicio de resistencia.

ABSTRACT

One of the great purposes of endurance athletes and active subjects who practice endurance sports, is to acquire optimal conditions at the metabolic level, in order to obtain a better performance in sporting events. In this context, lately the science of sports nutrition science has been interested in studying different training strategies and dietary intake in order to generate energy adaptations in skeletal muscle to facilitate energy production through fat oxidation during long exercises. duration, one of these strategies is fasting training. The purpose of this study was to describe the effects of overnight fasting (8-14h) on energy adaptations in physically active subjects and endurance athletes. Through a descriptive literature review, 12 studies referring to the energy response on night fasting training were selected, published between 2000 and 2020 in EbscoHost, Scopus, PubMed, Web of Science and the Google Scholar search engine. Within the effects of fasting training most mentioned in the literature was, increased oxidation of fats during and after exercise regardless of its intensity. In conclusion, when training in this condition there is a differential

metabolic response where it gives greater efficiency of fat oxidation, but also an increase in some cases and in others without changes in skeletal muscle CHO reserves after exercise , without impacting on muscle catabolism if food is consumed after the training session. These are relevant aspects that contribute to improving resistance exercise performance.

ABREVIATURAS:

ATP: adenosina trifosfato

CHO: carbohidratos

EPOC: consumo de oxígeno post ejercicio

FATmax: tasa máxima de oxidación de grasas

FFA: ácidos grasos libres

FSR: proteína muscular mixta

h: hora

HR: frecuencia cardíaca

IMCL: triglicéridos intramusculares

min: minutos

RER: índice de intercambio respiratorio

rpm: revoluciones por minuto

RQ: Cociente respiratorio o índice respiratorio

VCO₂: producción de CO₂

VO₂: absorción de oxígeno

VO₂max: consumo de oxígeno máximo

W pico: potencia máxima

W: potencia

% HRR: Reserva de frecuencia cardíaca

1. INTRODUCCIÓN

A medida que avanza la ciencia en el área de nutrición deportiva, el papel de la manipulación de la ingesta en el entrenamiento va tomando mayor importancia. Una nutrición óptima junto con sesiones de entrenamientos frecuentes y progresivos en cuanto a la intensidad y duración, traerá como resultado adaptaciones metabólicas en el músculo, siendo este uno de pilares importantes para un rendimiento óptimo (Baar & McGee, 2008). Por esta razón, uno de los temas de interés en el área de investigación deportiva se ha enfocado en averiguar nuevas estrategias a través de la manipulación de la ingesta dietética y de los programas de entrenamiento, en donde los sujetos entrenados puedan mantener óptimas condiciones a nivel del metabolismo energético en el músculo esquelético de tal manera que se proporcionen mejoras en la composición corporal y condición física (Thomas, Erdman, & Burke, 2016).

Para entender cómo las interacciones entre las estrategias del entrenamiento (variación de intensidad, duración y frecuencia del ejercicio) y la manipulación de la ingesta (ayuno y estado alimentado) afectan los sistemas de energía, la disponibilidad de sustrato y las adaptaciones al entrenamiento en sujetos entrenados (Thomas et al., 2016), es necesario entender que el metabolismo energético durante el ejercicio para el trabajo muscular utiliza principalmente dos sustratos energéticos, los CHO y las grasas, sin embargo, la contribución de estos sustratos energéticos dependen principalmente de la intensidad del ejercicio (J. Achten & Jeukendrup, 2003) y de otros factores como el contenido de glucógeno muscular, la duración del ejercicio, la proporción del tipo de fibras musculares, concentraciones plasmáticas de ácidos grasos libres (FFA), de lactato, y porcentaje de ingesta de grasas en la dieta (Goedecke et al., 2001). Se ha establecido previamente que el principal sustrato energético en el ejercicio aeróbico de alta intensidad son los CHO, específicamente en aquel que exige intensidad superior al 65% del VO₂max, y por el contrario, a intensidades bajas-moderadas se utilizan principalmente grasas como sustrato energético (Achten & Jeukendrup, 2004; Van Loon, Greenhaff, Teodosiu, Saris, & Wagenmakers, 2001).

Uno de los problemas de aquellos sujetos que practican deportes de resistencia que generalmente son eventos de larga duración, es que presentan fatiga temprana lo que afecta negativamente el rendimiento y la capacidad para mantener el ejercicio de resistencia, debido a que las reservas de CHO endógenos son limitadas (principalmente en el hígado y los músculos) (Gonzalez, Fuchs, Betts, & van Loon, 2016) y además la tasa de oxidación de grasas es insuficiente para mantener el gesto deportivo.

Por esta razón, una de las estrategias que ha ganado últimamente gran popularidad, en los deportes de resistencia, es el entrenamiento después del ayuno nocturno, gracias a que se ha documentado como una técnica prometedora para fomentar adaptaciones musculares, debido a que al presentarse una reducida disponibilidad de CHO, conlleva a mayor utilización de grasas por parte del músculo esquelético, siendo esta la vía principal de energía durante el evento deportivo con el fin de ahorrar o retardar la depleción de las reservas de CHO para aquellos periodos de alta intensidad (Philp, Hargreaves, & Baar, 2012; Bartlett, Hawley, & Morton, 2015). Para que suceda esto, se ha descrito en la literatura que en el músculo esquelético, se activan vías complejas de transcripción, traducción y fosforilación para obtener como resultado final en este, un cambio estructural/metabólico en el uso de grasa en lugar de CHO como combustible (Lange et al., 2007).

Con esta investigación se pretende brindar información científica disponible de los últimos 20 años que permita exponer las respuestas de las adaptaciones musculares y energéticas inducidas por el ejercicio en condiciones de ayuno nocturno (8-14h) en sujetos entrenados que practican deportes de resistencia, para así explicar los posibles beneficios o perjuicios a nivel metabólico al realizar el entrenamiento en esta condición, en razón que en la actualidad no se encuentra una revisión de literatura que consolide las adaptaciones musculares y energéticas en la población objetivo de esta revisión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de ayuno

El ayuno se define como la ausencia de ingesta de energía, es decir es la abstinencia voluntaria de la ingesta de alimentos y bebidas calóricas durante un periodo específico de tiempo (Moro et al., 2016).

2.1.1. Tipos ayunos

Una de las formas en que se clasifica el ayuno por medio del término ayuno intermitente (AI) que describe los diferentes patrones de alimentación y su clasificación se basa según el periodo de tiempo con el que se ayune. Dentro de los protocolos de (AI) más comunes son: (Tinsley & La Bounty, 2015).

2.1.1.1. Ayuno de días alternos (ADA): alternar entre días de alimentación a gusto de la persona (*ad libitum*) y días de ayuno, que generalmente consisten en una sola comida que contiene aproximadamente el 25% de las necesidades diarias calóricas.

2.1.1.2. El ayuno de día completo: consiste en 1 a 2 días de ayuno completo por semana, además de comer *ad libitum* los otros días, sin embargo, algunos programas permiten la ingesta de alimentos de hasta aproximadamente el 25% del gasto energético total diario en los días de ayuno.

2.1.1.3. Alimentación con restricción de tiempo: implica seguir la misma rutina de alimentación cada día, con un cierto número de horas designadas de ayuno (16-20 h) y las horas restantes para la alimentación (4-8 h).

2.1.1.4. Ayuno intermitente de Ramadán: es una regla de la religión islámica en donde, por un mes consecutivo, los musulmanes sanos ayunan desde el amanecer hasta el atardecer y se pueden alimentar libremente desde que atardece hasta que amanece. Por tanto, conducen a una reducción de la calidad y la cantidad de horas dedicadas al sueño, a la alimentación y se altera la disponibilidad y utilización de sustrato energético. Inclusive pueden presentar deshidratación en los eventos deportivos ya que en las horas del ayuno no pueden tomar agua (Chaouachi, Leiper, Chtourou, Aziz, & Chamari, 2012; Chaouachi, Leiper, Souissi, Coutts, & Chamari, 2009).

2.1.1.5. Ayuno nocturno: Es el periodo de tiempo aproximado de 8-14 horas dedicado al sueño (Maughan, Fallah, & Coyle, 2010; Albero et al., 2004).

2.2. Definición sujetos físicamente activos y atletas de resistencia:

Sujetos físicamente activos, según la OMS, son aquellos adultos que *“realizan al menos 150 minutos de actividad física de intensidad moderada durante la semana, o realizar al menos 75 minutos de actividad física de intensidad vigorosa durante la semana, o una combinación equivalente de actividad de intensidad moderada y vigorosa”* (WHO, 2018).

Los atletas de resistencia son aquellos que realizan ejercicios predominantemente aeróbicos (Morici et al., 2016). Según el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), el ejercicio aeróbico se define como cualquier actividad que utiliza grandes grupos de músculos, la cual se puede mantener de forma continua e incluso pueden prolongarse a varias horas y a diversas intensidades, se caracteriza por realizar movimientos repetitivos y rítmicos como ciclismo, trote, caminatas, correr largas distancias y nadar (Egan & Zierath, 2013). Por lo tanto, los atletas de resistencia compiten en

deportes como: maratón, triatlón, ciclismo de ruta, remeros, esquiadores y natación (Jeukendrup, 2011) (Baar & McGee, 2008)

2.2.1. Clasificación de los niveles de actividad física:

Nivel de Actividad Física, se clasifica según la intensidad y actividad física habitual, como se menciona a continuación: (RIEN, 2016)

2.2.1.1 Actividad física ligera: son aquellas actividades que no requieren mayor esfuerzo físico, incluye caminatas en trayectos cortos, regularmente no realiza actividad física, utiliza como medio de transporte la moto, e invierte buena parte del tiempo libre sentado o de pie, utiliza largo tiempo viendo televisión, en el uso de computador y/o en tecnologías digitales, leyendo, o jugando sin movimiento ni esfuerzo físico corporal.

2.2.1.2 Actividad física moderada: son aquellas actividades no arduas, pero en donde se realiza mayor gasto de energía comparado con los individuos sedentarios, durante la rutina diaria (voluntaria u obligatoria) realizan actividades moderadas a vigorosas regularmente, entre ellas están las labores de los trabajadores de obras de construcción, en zonas rurales las mujeres que colaboran en trabajos agrícolas, mujeres que trabajan en oficinas y realizan actividades de manera frecuente.

2.2.1.3 Actividad física fuerte: son aquellas actividades agotadoras con frecuencia en tiempo de descanso, en donde se efectúan actividades fuertes por horas como bailar, labores manuales agrícolas no mecanizadas, se mueven más que el promedio de la gente, caminan diariamente largos tramos, usan como medio de transporte la bicicleta, permanecen ocupados en trabajos o tareas domésticas que requiere alto gasto energético durante varias horas al día o realizan ejercicio o deporte que demanda una exigencia de esfuerzo físico, durante varias horas y días a la semana.

2.2.2. Intensidad del ejercicio aeróbico y su clasificación:

Según el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), el ejercicio aeróbico se clasifica según la intensidad de la siguiente manera: (American College of Sports Medicine, 2014)

2.2.2.1. Muy ligero: Ejercicio en el que la frecuencia cardíaca alcanza un aproximado < 30% de reserva de frecuencia cardíaca o < 57% de la frecuencia cardíaca máxima o <37% VO₂max.

2.2.2.2. Ligero: Ejercicio en el que la frecuencia cardíaca alcanza un aproximado de 30%-39% de reserva de frecuencia cardíaca o el 57%-63% de la frecuencia cardíaca máxima o 37-45 % VO₂max.

2.2.2.3. Moderado: Ejercicio en el que la frecuencia cardíaca alcanza un aproximado de 40%-59% de reserva de frecuencia cardíaca o el 64%-75% de la frecuencia cardíaca máxima o 46-64 % VO₂max.

2.2.2.4. Vigoroso: Ejercicio en el que la frecuencia cardíaca alcanza un aproximado de 60%- 89% de reserva de frecuencia cardíaca o el 76%- 95% de la frecuencia cardíaca máxima o 65-90 % VO₂max.

2.2.2.5. Cerca del máximo al máximo: Ejercicio en el que la frecuencia cardíaca alcanza un aproximado mayor o igual 90% de reserva de frecuencia cardíaca o el mayor o igual 96% de la frecuencia cardíaca máxima o mayor o igual 91 % VO₂max.

Sin embargo, con la finalidad de mejorar la capacidad aeróbica y el rendimiento, es importante que los atletas y sujetos que practican deportes de resistencia incorporen en las sesiones de entrenamiento, ejercicios de diferentes intensidades, duración y frecuencia (Seiler, 2010). Por esto, en dichas sesiones realizan ejercicios con umbral aeróbico y/o anaeróbico, que se basan principalmente en dos modelos básicos: (Enoksen, Tjelta, & Tjelta, 2011).

- 1) Carga de trabajo con un alto volumen de entrenamiento como eventos de larga duración a **baja intensidad** o **moderada intensidad**.
- 2) Cargas de trabajo con un bajo volumen de entrenamiento como eventos de corta duración a **altas intensidades**.

2.2.3. Métodos para estimar la intensidad del ejercicio de resistencia

En la actualidad existen varios métodos para medir las zonas de entrenamiento en esfuerzo de resistencia aeróbica (intensidad) que se dividen en grupos, métodos directos e indirectos (Stöggl & Sperlich, 2015), dentro de los más usados encontramos:

2.2.3.1. El consumo máximo de oxígeno (VO₂max): se define como el consumo de oxígeno alcanzado durante la intensidad máxima del ejercicio, el cual indica los límites de la capacidad del sistema cardiorrespiratorio para transportar oxígeno desde el aire a los

tejidos, dependiendo del acondicionamiento físico y la disponibilidad de oxígeno (Hawkins et al., 2007). Este marcador permite conocer la capacidad aeróbica de los sujetos entrenados ante un ejercicio de resistencia, siendo este uno de los predictores más fuertes del rendimiento en los eventos de larga distancia. (Enoksen, Tjelta, & Tjelta, 2011). Este VO₂max, se puede medir de forma indirecta o directa, a través de fórmulas derivadas de protocolos convencionales o con la prueba de esfuerzo cardiopulmonar (CPET) respectivamente (Herdy & Souza, 2019).

2.2.3.2. Frecuencia cardíaca máxima: la frecuencia cardíaca es la cantidad de veces que el corazón late por minuto (latidos por minuto) (American Heart Association, 2016). La “frecuencia cardíaca máxima” (HR max) es el porcentaje, y el valor más alto de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio aeróbico máximo. Este indicador sirve para determinar el esfuerzo máximo del ejercicio, y se pronostica a través de métodos indirectos por medio de varias ecuaciones, siendo una de las más conocidas y precisa es Tanaka: (220 latidos /min-edad) o métodos directos en pruebas de esfuerzo máximo (Sarzynski et al., 2013)

2.2.3.3. Reserva de frecuencia cardíaca (% HRR): según el ACSM la define como el porcentaje de la diferencia entre la frecuencia cardíaca en reposo y la frecuencia cardíaca máxima necesaria para una actividad determinada. Se utiliza principalmente para determinar las zonas de frecuencia cardíaca durante el ejercicio (Swain, Leutholtz, King, Haas, & David Branch, 1998). %HRR se calculó se puede calcular mediante fórmulas, una de ellas es Karvonen, Kentala y Mustala (1957): $\% \text{ HRR} = ((\text{HR max} - \text{HRrest}) \times 0.65) + \text{HRrest}$

2.3 Sustratos energético

El aporte de energía necesario para satisfacer la demanda de energía durante el ejercicio, se da gracias a la degradación de los sustratos energéticos, como lo son los CHO, grasas, fosfato de creatina y en menor medida de las proteínas, provenientes del consumo diario de alimentos y reservas corporales. Dichos sustratos se metabolizan por diferentes vías metabólicas para así obtener la única forma química de energía que pueda ser utilizado por los músculos para su trabajo, denominada adenosina trifosfato (ATP) (López & Fernández Vaquero, 2006)(Wolinsky & Driskell, 2008).

2.3.1. Coeficiente respiratorio o índice respiratorio (RQ):

Se define como el volumen de dióxido de carbono liberado sobre el volumen de oxígeno absorbido durante la respiración (producción de CO₂ / absorción de O₂) (Patel, Kerndt,

& Bhardwaj, 2020). Este valor se obtiene por medio del índice de intercambio respiratorio (RER), el cual mide directamente el VCO₂ liberado / VO₂ absorbido en la boca y permite identificar el uso de combustible o sustrato metabólico en los tejidos durante el ejercicio (Deuster & Heled, 2008)

El coeficiente respiratorio, suele oscilar entre 0,7 y 1,2, y cuando el resultado de esta relación está entre 0,7-1,0 indica que se están utilizando predominantemente las grasas, mientras que si esta relación da como resultado un número mayor o igual a 1,0 indica el uso primordialmente de carbohidratos (Deuster & Heled, 2008). Por lo tanto, cuando se aumenta la intensidad del ejercicio, se obtiene un RER alto, indicando que los carbohidratos se utilizan predominantemente, mientras que en la intensidad del ejercicio baja / moderada se obtiene un RER bajo, indicando oxidación de lípidos (Simonson & DeFronzo, 1990).

Otra de las herramientas comúnmente empleadas para estimar el gasto de energía y la utilización de sustrato energético durante el ejercicio es la calorimetría indirecta, herramienta no invasiva, precisa y sensible por parte del cuerpo (Gupta et al., 2017). Para obtener la tasa de oxidación del sustrato energético por medio de esta herramienta, se debe calcular a través de ecuaciones estequiométricas, una de las más usadas es la de Frayn, 1983, en la cual se asume que la tasa de excreción de nitrógeno urinario era insignificante (Aslankeser & Balci, 2017):

$$\text{Oxidación de CHO (gmin}^{-1}\text{)} = 4.55 \times \text{V CO}_2 \text{ (lmin}^{-1}\text{)} - 3.21 \times \text{VO}_2 \text{ (lmin}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Oxidación de grasas (gmin}^{-1}\text{)} = 1,67 \times \text{VO}_2 \text{ (lmin}^{-1}\text{)} - 1,67 \times \text{V CO}_2 \text{ (lmin}^{-1}\text{)}.$$

2.3.2. Metabolismo energético durante el ejercicio

Los sistemas de energía a través de los cuales se produce la re-síntesis de ATP durante el ejercicio para suplir de energía necesaria al músculo esquelético, se puede clasificar a grandes rasgos como vías anaeróbicas (no requieren de oxígeno), en la cual encontramos las vías fosfágena y glucolítica anaeróbica láctica y por otro lado la vía aeróbica (requieren de oxígeno) como son las vías oxidativas. Como se mencionó anteriormente, la participación de cada vía depende en gran medida de la intensidad y duración del ejercicio, como se explicará a continuación: (AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION DIETITIANS OF CANADA, 2009)

2.3.2.1. Vías anaeróbicas:

1. El sistema de fosfágeno se utiliza para ejercicios de alta intensidad que duran no más de unos segundos. Esto se da gracias a que al interior del músculo hay reserva de 2 sustratos: **a. trifosfato de adenosina (ATP)** con una cantidad aproximada de ($\sim 5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso húmedo) **b. el fosfato de creatina** es aproximadamente cuatro veces mayor que el ATP, de manera que responda de forma rápida al estímulo proporcionado, sin embargo esta disponibilidad de sustratos son muy pequeñas para satisfacer eventos de larga duración, por tal razón puede mantener un esfuerzo máximo durante aproximadamente 1 a 10 segundos, como el clean and jerk en el levantamiento de pesas o el contraataque en el baloncesto.(AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION DIETITIANS OF CANADA, 2009)
2. La vía glucolítica anaeróbica utiliza la reserva de CHO llamada **glucógeno** presente en el hígado y músculo, por otro lado, glucosa en sangre que se metaboliza rápidamente a través de la cascada glucolítica. Esta vía da energía a eventos que duran entre 60 y 180 segundos. Se estima que entre el 25% y 35% de las reservas totales de glucógeno muscular, se utilizan durante una sola carrera de 30 s de sprint o ejercicio de resistencia (AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION DIETITIANS OF CANADA, 2009)

2.3.2.2. La vía aeróbica:

Los principales sustratos utilizados son los CHO en forma de glucógeno muscular y hepático, triglicéridos al interior del músculo, de la sangre y del tejido adiposo y por último cantidades insignificantes de aminoácidos (proteína) de los músculos, la sangre, el hígado y el intestino. Los eventos de larga duración desempeñados por deportistas de resistencia utilizan predominantemente esta vía, como por ejemplo carrera de 1500 metros, maratón, media maratón y ciclismo de resistencia o eventos de natación de 1500 metros. (AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION DIETITIANS OF CANADA, 2009)

2.3.3. Respuesta metabólica durante el ayuno

La respuesta metabólica durante el ayuno involucra la movilización de las reservas de carbohidratos, grasa y proteínas, las cuales están reguladas por cambios a nivel hormonal, como la disminución en la concentración de insulina en plasma y aumento significativo a nivel plasmático de las hormonas contrarreguladoras (glucagón, catecolaminas, hormona del crecimiento, corticosteroides) (Maughan, Fallah, & Coyle, 2010). El ayuno está asociado con un conjunto coordinado de cambios metabólicos, como son:

1. Glucogenólisis. La glucosa proviene de las reservas de glucógeno del hígado y músculo. Sin embargo, se reporta que el 75% de toda la glucosa a nivel plasmático durante las primeras 12 horas es aportada por la activación de esta vía en el hígado, esta ruta metabólica inicialmente da 110 mg/min de glucosa hasta la depleción de la reserva de glucógeno, que sucede aproximadamente a las 12 horas de ayuno (Rothman, Magnusson, Katz, Shulman, & Shulman, 1991).

2. Gluconeogénesis. Esta vía se hace principalmente en el hígado, con una escasa contribución del riñón, este último se estima alrededor del 25% a las 60 horas de ayuno (Gerich, Meyer, Woerle, & Stumvoll, 2001). Se encarga de producir glucosa a partir de sustratos no glúcidos como son:

2.1. El glicerol: Es el producto de la lipólisis del tejido adiposo, su utilización radica prácticamente cuando toda la glucosa proviene por gluconeogénesis, es decir cuando se ayuna por más de 24 horas (Jensen, Ekberg, & Landau, 2001).

2.2. Los aminoácidos: Estos son producidos principalmente por el catabolismo muscular, se convierten en α -cetoácidos transformándose en intermedios del ciclo del Krebs (como, piruvato, oxalacetato, fumarato, succinil-CoA o α -cetoglutarato) que sirven como precursores de la gluconeogénesis (Rui, 2014).

2.3. Proteólisis: Durante el ayuno se incrementa el catabolismo proteico dado por el aumento de las hormonas contrarreguladoras, por lo que se presentan en sangre unos 70-90 g/día de aminoácidos, fundamentalmente alanina (Albero, Sanz, & Playán, 2004). La mayoría de los aminoácidos se transportan al hígado para producir allí energía (Albero, Sanz, & Playán, 2004).

3. Lipólisis. se activa después de agotadas las reservas de glucógeno hepático (Albero, Sanz, & Playán, 2004). Proporciona FFA y carbonos gluconeogénicos como el glicerol (Jensen, Ekberg, & Landau, 2001). Se ha evidenciado que estos sustratos se aumentan en el plasma después de 24 horas de ayuno (Salgin et al., 2009).

4. Cetogénesis. Tras la depleción del glucógeno hepático y la ausencia de gluconeogenesis, se aumenta la producción de los cuerpos cetogénicos como acetoacetato y el beta-hidroxibutirato, utilizados para obtener energía. (Albero, Sanz, & Playán, 2004).

2.4. Adaptaciones metabólicas en atletas de resistencia y sujetos entrenados

Las respuestas metabólicas que sustentan la adaptación del músculo esquelético al entrenamiento físico con ejercicio aeróbico frecuente, son *“una utilización más lenta de combustibles basados en carbohidratos (glucógeno muscular y hepático, glucosa en sangre y lactato de músculo, sangre e hígado), una mayor dependencia de combustibles a base de grasas [adiposo y triglicéridos intramusculares, ácidos grasos libres transmitidas por la sangre] y una disminución de la producción lactato durante el ejercicio de baja a moderada intensidad [es decir, 45-65% del VO₂máx]”* (Hawley & Leckey, 2015). Estas adaptaciones se generan con el objetivo de mejorar el rendimiento durante la realización del ejercicio prolongado, ya que hay aumentos trascendentales en la capacidad de ejercicio submáxima observados después del entrenamiento de resistencia, lo que posibilita al atleta a trabajar a velocidades constantes y retrasar la aparición de fatiga (Hawley & Leckey, 2015).

Los beneficios de las respuestas metabólicas se fundamentan por el aumento de las tasas de oxidación de glucosa y grasas, por medio de la activación de varias vías metabólicas para el suministro eficiente de energía durante el ejercicio, estos están mediados en parte, por una extensa remodelación metabólica y molecular dentro del músculo esquelético (Egan & Zierath, 2013), que son:

1. Incrementa el número, el volumen y una mejor calidad mitocondrial, aumentando así la eficiencia metabólica del ejercicio ya que, la oxidación de carbohidratos y lípidos, dependen en gran medida de la abundancia y función mitocondrial (Brooks & Mercier, 1994), aumentan el transporte de glucosa y estimula la captación y oxidación de lípidos (Smith, Soeters, Wüst, & Houtkooper, 2018).
2. El entrenamiento frecuente promueve un aumento en el reclutamiento principalmente de las fibras tipo I oxidativas, de contracción lenta. Durante el ejercicio de baja intensidad, las fibras musculares oxidativas dependen predominantemente de la oxidación de ácidos grasos para su producción de ATP. Por el contrario, el ejercicio más intenso y el aumento de la tasa de utilización de ATP, inducen a un cambio metabólico de la oxidación de ácidos grasos a la oxidación de la glucosa. (Dubé et al., 2017; Smith, Soeters, Wüst, & Houtkooper, 2018)

3. FORMULACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las metas de los sujetos que participan en deportes de resistencia, es conseguir adaptaciones musculares y metabólicas a través de la implementación de estrategias sobre el entrenamiento y dieta. Con estas adaptaciones se busca que la vía principal que suministra energía al músculo provenga de la oxidación de grasas con el fin de ahorrar o retardar la depleción de las reservas de CHO para aquellos periodos de alta intensidad (Philp, Hargreaves, & Baar, 2012; (Bartlett, Hawley, & Morton, 2015; Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016). Este interés se crea debido a que el cuerpo contiene limitadas reservas de glucógeno y que la tasa de oxidación de grasas es insuficiente para mantener la demanda de energía requerida para el trabajo muscular en ejercicios de resistencia con diferentes intensidades, lo que lleva al agotamiento hacia el final del ejercicio de larga duración acompañado de fatiga (Hearris, Hammond, Fell, & Morton, 2018).

En la literatura está descrito, que las adaptaciones metabólicas en sujetos entrenados en ejercicios de resistencia suceden gracias a sesiones de entrenamientos frecuentes, las cuales desencadenan variaciones genéticas y epigenéticas, estas con la finalidad de mejorar la capacidad del músculo esquelético para oxidar sustratos y producir ATP durante el ejercicio (Hearris et al., 2018). Dependiendo de la intensidad, frecuencia y duración del ejercicio, se van a utilizar preferiblemente unos sustratos energéticos provenientes de las reservas de combustible en tejidos extra-muscular (tejido adiposo, hígado, etc) e intramuscular para satisfacer la demanda metabólica durante el ejercicio aeróbico (Egan & Zierath, 2013). En términos generales, durante el ejercicio prolongado aeróbico de baja a moderada intensidad, las principales fuentes de combustible son la glucosa y los ácidos grasos libres, los cuales se producen de las vías metabólicas de la glucogenolisis hepática/ gluconeogénesis y la lipólisis respectivamente. A medida que se aumenta la intensidad del ejercicio, la oxidación de ácidos grasos disminuye de forma moderada y se va aumentando la utilización de glucosa muscular (Egan & Zierath, 2013).

Por otro lado, las respuestas metabólicas en condición de ayuno son variables, dependiendo de la duración de éste (Albero, Sanz, & Playán, 2004). Durante este periodo se presentan modificaciones fisiológicas debido a la carencia exógena de glucosa, por lo cual el tejido muscular, adiposo y hepático se encargan de proporcionar glucosa para mantener la glicemia y suministrar energía a los órganos glucodependientes, como las neuronas, los glóbulos rojos y las células de la médula renal (Petersen, Vatner, & Shulman, 2017). Posteriormente, se producen y utilizan los ácidos grasos y cuerpos cetónicos para el suministro de energía (Albero, Sanz, & Playán, 2004).

Por último, al realizar la búsqueda de revisión de literatura disponible de los últimos 20 años, no se encontraron en estas, de manera específica todas las adaptaciones energéticas en sujetos físicamente activos y en deportistas de resistencia al entrenar, en condiciones de ayuno nocturno. Por tal razón, se desea consolidar toda la información referente al tema, a través de una revisión de literatura, en donde se describan las rutas metabólicas implicadas, las adaptaciones energéticas estimuladas, e identificar los posibles beneficios y perjuicios a nivel metabólico durante el entrenamiento en ayuno nocturno en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos.

Por lo tanto, esta revisión de literatura pretende dar respuesta al siguiente interrogante **¿Cuáles son los efectos del ayuno nocturno de 8 a 14 horas en las adaptaciones energéticas en atletas de resistencia y sujetos entrenados?**

3.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los deportes de resistencia cada vez son más practicados por sujetos físicamente activos y atletas de resistencia, ya que de forma recurrente en las ciudades se llevan a cabo eventos aeróbicos, en los cuales se modifican las carreras de maratón estándar a carreras de menor duración, como carreras de barrio, carreras de colores, carreras con fines sociales como las carreras de la mujer y carreras de obstáculos, (Miller, 2017), que pueden llegar a durar más de 30 min (Jeukendrup, 2011). Para el 2015, se estimó que la participación en eventos de resistencia ha aumentado a 3,5 millones de personas en todo el mundo (Shilton, s/f).

La evidencia sugiere que los sujetos que realicen ejercicios de resistencia, deben hacer programas periodizados en los que se implementen diferentes tipos de entrenamientos asistidos con acompañamiento nutricional, con el fin de capacitarlos para obtener su máximo rendimiento en eventos deportivos específicos y de igual forma buscar en aquellos sujetos altamente entrenados que no lleguen a un estancamiento o aclimatación del cuerpo para desarrollar adaptaciones musculares y metabólicas (Boullosa et al., 2020).

En aquellos sujetos altamente entrenados se encuentran los atletas de categoría élite, quienes desarrollan entrenamientos que los conducen a un estrés crónico, debido a la exigencia de llevar a diario un mayor esfuerzo físico, con el objetivo de lograr metas superiores a nivel de competición aumentando así la susceptibilidad a lesiones y al sobre entrenamiento (Sánchez & García, 2017).

Por lo anterior, se hace necesario investigar sobre diferentes estrategias de entrenamiento e ingesta dietética que puedan estimular estas adaptaciones, sin tener que recurrir a un volumen de entrenamiento excesivamente alto y así disminuir el riesgo de lesiones y enfermedades (Thomas et al., 2016). Esto, con la finalidad de aumentar la capacidad de resistencia y por ende mayor rendimiento en sujetos entrenados y atletas que experimentan períodos de entrenamiento de larga duración, los cuales son más propensos a causar fatiga y daño muscular (Baranauskas et al., 2015).

En los últimos años, el entrenamiento en ayunas es una práctica habitual en deportistas de resistencia y sujetos físicamente activos a nivel mundial, el cual consiste en realizar el entrenamiento en ayunas después de las horas de sueño en un período comprendido entre 8-14 horas (Maughan, Fallah, & Coyle, 2010; Albero, Sanz, & Playán, 2004).

En el estudio de Rothschild, Kilding, & Plews (2020), en el que se evalúa la prevalencia y las determinaciones del entrenamiento en ayunas, por medio de encuestas a 1.950 atletas de resistencia, de los que el 62.9% reportaron que realizaban entrenamiento en ayuno nocturno, y también dieron a conocer las razones por las cuales entrenaban en esta condición, obteniendo dentro de las respuestas más relevantes las siguientes: la utilización de grasas como fuente de combustible (42,9%), la comodidad intestinal (35,5%) y las limitaciones de tiempo / conveniencia (31,4%). Como se evidenció en la encuesta, la primera razón por la que los atletas realizaron entrenamiento en ayunas, se basó en una mayor utilización de grasas como fuente de combustible, en razón que puede ser una estrategia favorable en deportes de larga duración, en razón que se pueden producir adaptaciones metabólicas para que se aumenten las reservas glucogénicas y la tasa de oxidación de grasas (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016), lo que podría promover mayor rendimiento sin perjudicar la salud de quienes practican esta estrategia.

Esta revisión será de gran interés para los atletas de resistencia, entrenadores, preparadores físicos y entidades nacionales e internacionales enfocadas en la investigación del deporte con la finalidad de crear nuevos campos de investigación y aplicación que sea del interés para nutricionistas dietistas en esta área. Por lo anterior, se desea tener claridad si esta práctica es adecuada y si existen adaptaciones metabólicas para así dado el caso, incorporarlas o no según el beneficio o perjuicio que consigo traigan.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Describir los efectos del ayuno nocturno (8-14h) en las adaptaciones energéticas en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos, mediante una revisión de literatura a partir del año 2000 hasta el año 2020.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.2.1.** Describir las rutas metabólicas implicadas durante el entrenamiento en ayuno nocturno en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos.
- 4.2.2.** Describir las adaptaciones energéticas estimuladas por el entrenamiento en ayuno nocturno en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos.
- 4.2.3.** Identificar los posibles beneficios y perjuicios a nivel metabólico al realizar entrenamiento en el ayuno nocturno en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Diseño de la investigación

Este trabajo de grado, es una revisión de literatura de tipo descriptivo, que permite al lector una actualización en temas de permanentes cambios, que además aportan en la enseñanza, siendo de gran interés para las personas que trabajan en áreas relacionadas (Guirao Goris, 2015). La presente revisión, radica en llevar a cabo una síntesis y valoración crítica de varios estudios para poder describir las adaptaciones energéticas del ayuno nocturno de 8 a 14 horas en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos.

Para esta revisión se seleccionaron artículos publicados en el periodo comprendido del 2000 al 2020, para lo cual se emplearon las bases de datos; EbscoHost, Scopus, PubMed, Web of Science. Por otra parte, estas 4 bases de datos arrojaron una revisión de literatura de Salar, Otegui, & Collado (2015), de la que se extrajeron 2 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión para la presente revisión, buscados en Google Scholar.

Las variables a estudiar fueron, los sustratos energéticos como variable dependiente y entrenamiento en ayuno nocturno, como variable independiente.

5.2. Métodos

5.2.1. Criterios para la selección de los estudios

5.2.1.1. Los criterios de inclusión de los artículos incorporados en este estudio fueron los siguientes: Ensayos aleatorizados, controlados, cruzados, paralelos y no aleatorios, revisiones sistemáticas y revisiones de literatura, estudios en humanos específicamente

en atletas o adultos físicamente activos sanos masculinos y femeninos (18-40 años de edad), en los que se realizaron intervenciones de entrenamiento en condiciones de ayuno nocturno de 8 -14 horas y evaluaron adaptaciones metabólicas durante y/o después del ejercicio y además que se hayan publicado entre el año 2000 y el año 2020, en idiomas inglés y español.

5.2.1.2 Los criterios de exclusión fueron los siguientes: Ayuno religioso, como el ayuno de Ramadán; estudios en los que la alimentación ocurrió durante el ejercicio; estudios en los que los participantes consumieron ayudas ergogénicas antes o durante el ejercicio; estudios en los que los participantes tenían patologías; estudios con intervenciones en animales; estudios donde los sujetos estudio fueron población sedentaria y desentrenados y estudios donde los sujetos de estudio fueron adultos obesos o con sobrepeso.

5.2.2. Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda de los términos MeSH: athlete, fasting, Endurance training, Exercise, Energy Metabolism, Metabolism, Lipid Metabolism, Lipolysis, Lipid Mobilization, Carbohydrate, Glycogenolysis, Gluconeogenesis, Glycolysis, Citric Acid Cycle, Ketone bodies, Proteolysis, Amino Acids, Leucine, Isoleucine y Valine, en la biblioteca del Centro Nacional de Información Biotecnológica para encontrar términos alternativos (sinónimos) de los conceptos o variables del estudio, con el fin de diseñar la estrategia de búsqueda.

Para cada una de las bases de datos se confeccionó una cadena o estrategia de búsqueda la cual se elaboró con las palabras claves anteriormente descritas y el uso de operadores booleanos. La estrategia de búsqueda final se muestra en el anexo 1, donde también se documentó; el nombre de la base de datos que se utilizó, la fecha en la que se realizó la búsqueda, los filtros utilizados y la estrategia exacta de búsqueda que se empleó para realizar la misma.

Anexo 1. Tabla 1. Descriptores de búsqueda en las bases de datos seleccionadas.

5.2.3. Proceso de búsqueda

En cada una de las bases de datos consultadas se buscó con la “cadena de búsqueda” que se muestra en el anexo 1. Se utilizó la opción de “búsqueda avanzada” y se buscó por los filtros de resumen, título, y palabra clave; en el caso de título y palabra clave, si estos disponían de esta opción, sin embargo, dentro de los filtros disponibles en la base de datos Web of Science no hubo un filtro específicamente por resumen, por esta razón se utilizó el filtro por tema. Una vez se realizó la búsqueda con la estrategia exacta de búsqueda, se limitó la fecha de publicación del año 2000-2020 y se filtró a estudios publicados en idiomas en inglés y español. Lo anterior con la finalidad de poder perfeccionar aún más la

búsqueda e incluir, los artículos en los que el referido tema fueran las variables fundamentales del estudio.

5.2.4. Recolección y análisis de la información extraída de los artículos seleccionados:

La información se recolectó en una tabla de manera que, se extrajeron de los estudios la información relevante que incluyeron: referencia del estudio, base de datos, tipo de muestra, duración del diseño experimental, prueba experimental y tiempo en el que se evaluó la respuesta energética, resultados del estudio, conclusiones del estudio y las limitaciones reportadas en cada estudio. Como se puede evidenciar en el anexo 2.

Tabla 2. Matriz de las características y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión.

6. RESULTADOS

6.1. Características de la muestra

Se revisaron los estudios de forma individual y se seleccionaron artículos originales que presentaron información sobre las adaptaciones energéticas del entrenamiento en ayuno en atletas o sujetos físicamente activos. Se empezó revisando títulos y resúmenes. Cuando no se pudo obtener suficiente información del título y resumen en particular, se procedió a leer el artículo completo.

En la búsqueda inicial se identificaron 230 estudios en las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, EbscoHost y se encontraron dos estudios adicionales, mediante una búsqueda manual en Google Scholar extraídos de la revisión de literatura de Salar, Otegui, & Collado (2015), obtenida de las bases de datos anteriormente mencionadas, para un total de 232 estudios. De estos, 232 se descartaron según el título y el resumen por no cumplir los criterios de inclusión y se seleccionaron 90 estudios para lectura del texto completo, de los cuales se excluyeron 64 porque no cumplieron con la inclusión de criterios, quedando 26 artículos. Paso seguido se eliminaron de estos los duplicados, para finalmente tener en cuenta 12 artículos en este estudio (ver figura 1)

Se incluyó una revisión de literatura de Salar, Otegui, & Collado (2015), la cual incorpora estudios donde la población de estudio son sujetos sanos, sedentarios o desentrenados o físicamente activos; muestra en la cual lo referente a “sedentarios y desentrenados”, no están incluidos en el objeto de este estudio, por este motivo se tomaron y añadieron 2 artículos de los citados en esa revisión que cumplían con todos los criterios de inclusión, por lo que se añadieron en la (tabla 1), se tomaron en cuenta para análisis y se extrajeron

los datos relevantes para el grupo poblacional objetivo de esta revisión (físicamente activos y atletas).

Adicionalmente, se incluyó para hacer parte del análisis del presente estudio un manuscrito (Broad, Howe, McKie, Vanderheyden, & Hazell, 2020) ya que a pesar que no es la versión final del documento por no tener acceso al artículo original por cuestiones de pago, este fue aceptado por el editor y está alojado en repositorio institucional de una universidad.

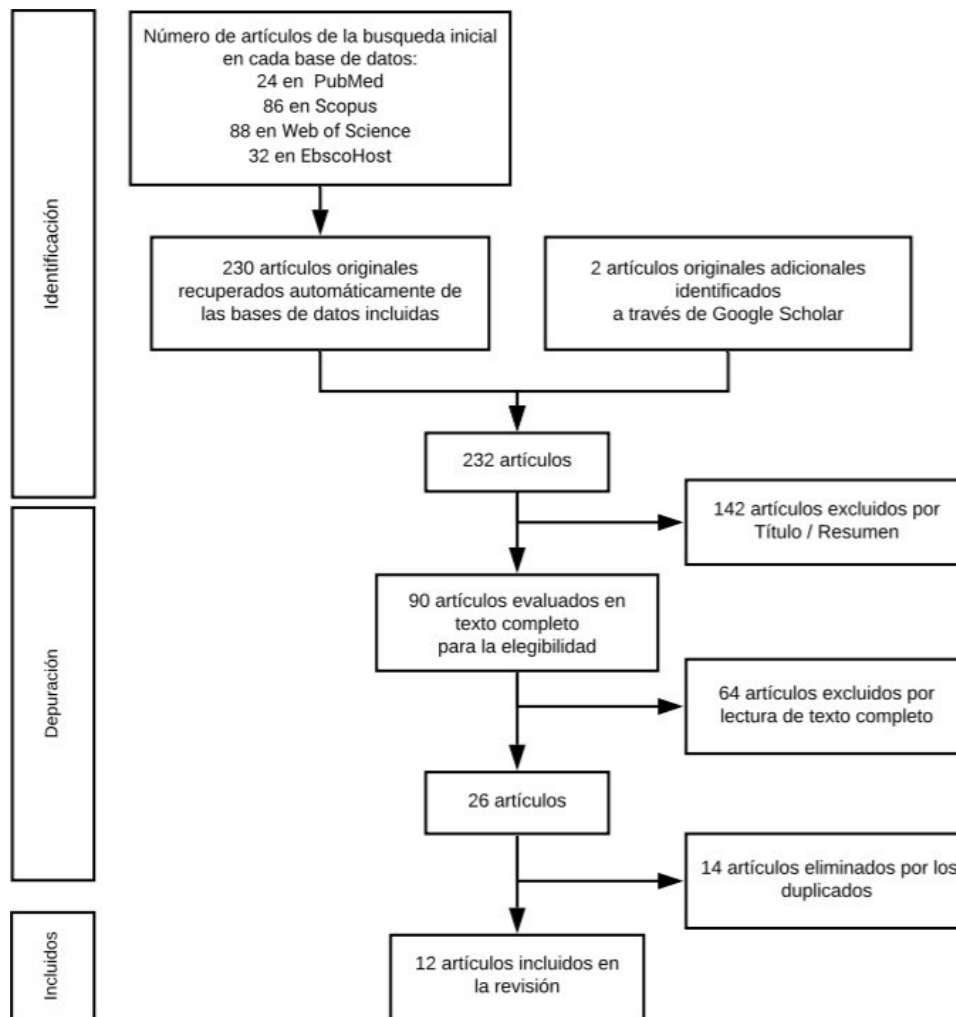


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de artículos para la presente revisión.

6.2. Características de los estudios

Como se puede evidenciar en la matriz (anexo 2) todos los participantes fueron sujetos sanos. Es de destacar que en los once (11) estudios y una (1) revisión de literatura, en los cuales de estos siete (n:7) se realizaron intervenciones con sujetos físicamente activos y cuatro (n: 4) se realizaron intervenciones con atletas o sujetos altamente entrenados en resistencia. Del total, de los estudios evaluados, nueve (n: 9), de sus participantes eran únicamente de sexo masculino, y dos (n: 2), eran de sexo masculino y femenino.

Algunos de los estudios examinados realizaron análisis de una gran variedad de marcadores, desde la expresión de genes hasta metabolitos circulantes en el plasma. En donde, se caracterizó de forma general que los diseños experimentales de corta duración (< 2 semanas) tuvieron el propósito de examinar los cambios agudos en el metabolismo energético, en cambio, diseños experimentales de larga duración (>4 semanas) pretendieron encontrar adaptaciones metabólicas crónicas (Salar, Otegui, & Collado, 2015). Por tal razón, en la tabla 3 se resumió cada uno de los hallazgos reportados por estos, como las adaptaciones musculares, metabolitos circulantes, y actividad enzimática que pudieron dar respuesta a adaptaciones energéticas causadas al entrenar en ayuno nocturno.

La revisión de literatura de Salar, Otegui, & Collado (2015), no se incluyó en la tabla 3, debido a que los análisis se basan principalmente en población sedentaria, por lo cual únicamente se utilizaron los 2 artículos con población físicamente activa.

Tabla 3. Adaptaciones energéticas durante el entrenamiento en ayuno nocturno en sujetos entrenados.

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|------------------------|---|--|
| Físicamente activos | (Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011) | Después de haber entrenado en condición de ayuno por 6 semanas: 1. Aumento en la FAT Max + 21%, (P <0.05) en comparación con aquellos sujetos que se alimentaron antes de cada ejercicio. 2. La RER disminuyó en comparación a la prueba inicial (P<0.01). 3. La degradación de triglicéridos intramusculares (IMCL) en las fibras tipo I aumentó en + 34%; (P <0.05). |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|----------------------|---|
| | | <p>4. Indujo una degradación neta sustancial de IMCL en las fibras tipo Ila en -45%; ($P < 0.05$).</p> <p>5. Aumentó un 22% en el contenido basal de glucógeno muscular ($P < 0.05$).</p> <p>6. Aumentó el contenido de GLUT4 muscular en aproximadamente un 50% ($P < 0.01$).</p> <p>7. Aumentó sustancialmente la actividad de citrato sintetasa (CS) ($+ 47\%$, $P < 0.01$) y la actividad de β-hidroxiacil coenzima A (β-HAD) aumentó en ayuno ($P < 0.05$).</p> <p>8. Aumentó la densidad capilar en $\sim 10\%$ de ± 5 a ± 5.5 capilares por fibra en las fibras tipo I y tipo Ila ($P < 0.05$).</p> <p>9. La caída de glucosa en sangre inducida por el ejercicio fue compensada.</p> <p>10. La concentración de FFA después del ejercicio fue menor ($1,657 \pm 136 \mu\text{mol} / \text{l}$, $P < 0.01$)</p> |
| | (Paoli et al., 2011) | <p>Después de 12 h y 24 h del ejercicio en ayunas:</p> <p>1. El RER fue menor en el grupo de participantes que desayunaron antes del ejercicio (FED) que en los que desayunaron después del ejercicio (FST). RER a las 12 h ($p < 0.05$, FST: 0.79 ± 0.03 vs. FED: 0.74 ± 0.03); RER a las 24 h ($p < 0.001$, FST: 0.870 ± 0.02 vs. FED: 0.78 ± 0.02).</p> <p>2. Entrenar después del desayuno permite mantener un mayor VO_2 durante horas posteriores al ejercicio en comparación de los que entrenan en una condición de ayuno.</p> |
| | (Gonzalez, Veasey, | <p>1. Durante el ejercicio mayor oxidación de grasa, pero menor oxidación de CHO en comparación con aquellos que desayunaron</p> |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|-----------------------------|---|
| | Rumbold, & Stevenson, 2013) | <p>antes del ejercicio.</p> <p>2.Después de 90 min del ejercicio se presentó mayor oxidación de CHO y grasa en comparación con aquellos que desayunaron antes del ejercicio</p> |
| | (Harber et al., 2010) | <p>En las horas inmediatas después de 60 min de ejercicio aeróbico a intensidad (72% v o 2 max):</p> <p>1.La FSR fue mayor (P <0.05) en aquellos que ayunaron antes del ejercicio (EX-FAST) ($0.112 \pm 0.010\% \cdot h^{-1}$) y aquellos que se alimentaron (EX-FED) ($0.129 \pm 0.014\% \cdot h^{-1}$) en comparación con aquellos que descansaron (REST) ($0.071 \pm 0.005\% \cdot h^{-1}$). No se observaron diferencias significativas entre EX-FAST y EX-FED.</p> <p>2.La proteólisis de cuerpo entero, reflejada por la fenilalanina Ra en el plasma, fue menor (P <0.05) en EX-FED ($0.83 \pm 0.03 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) en comparación con REST ($1.06 \pm 0.02 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) y EX-FAST ($1,05 \pm 0,02 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).</p> <p>3.La ingestión de carbohidratos más proteínas después del ejercicio no estimuló de forma mensurable la FSR de músculos mixtos por encima de los valores en ayunas entre 2 y 6 h después del ejercicio.</p> <p>4.La alimentación después del ejercicio atenuó la expresión de ARNm del músculo esquelético de los marcadores proteolíticos MuRF-1 y calpaína-2 y redujo la expresión de ARNm del músculo esquelético del marcador miogénico MRF4.</p> <p>5.No hubo diferencias presentes en la concentración de glucosa plasmática inmediatamente después del ejercicio o durante el período de recuperación de 6 horas después del ejercicio entre los ensayos.</p> <p>6.Los ácidos grasos plasmáticos fueron más bajos a las 2 h, 3 h y</p> |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|--|---|
| | | <p>4 h después del ejercicio en EX-FED en comparación con EX-FAST</p> <p>7.El glucógeno muscular fue mayor ($P < 0.05$) a las 2 h y 6 h durante EX-FED (223 ± 36 y 231 ± 38 mmol / kg de peso seco, respectivamente) en comparación con EX-FAST (162 ± 29 y 165 ± 28 mmol / kg de peso seco durante 2 h y 6 h, respectivamente).</p> |
| | (Bachman, Deitrick, & Hillman, 2016) | <p>Los que hicieron el ejercicio en ayunas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. RER fue significativamente más bajo ($p < 0.001$) que en los sujetos que desayunaron antes del ejercicio, 2. No hubo diferencias entre las pruebas en el gasto de energía durante la carrera. (desayunados versus nodesayunados) 3. la glucosa en sangre fue significativamente más alta después del almuerzo que al llegar ($p=0.002$), antes del ejercicio ($p=0.001$) y antes del almuerzo ($p < 0.001$). |
| | (Broad, Howe, McKie, Vanderheyden, & Hazell, 2020) | <p>Después de realizar un entrenamiento de intervalos de velocidad (SIT):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La oxidación de grasas a las 3 h después del ejercicio fue mayor en los que desayunaron (FED) (0.110 ± 0.04 g · min⁻¹) versus a los que ayunaron (FAST) (0.069 ± 0.02 g · min⁻¹; $p = 0.013$) aunque no fue diferente entre las condiciones a lo largo del tiempo ($p > 0.340$) o en la oxidación total de grasas post-ejercicio (FED: $0,125 \pm 0,04$ g · min⁻¹, FAST: $0,105 \pm 0,02$ g · min⁻¹; $p = 0,154$). |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|------------------------|---|
| | (De Bock et al., 2005) | <p>1. La degradación de IMTG durante el ejercicio submáximo prolongado en ayunas tiene lugar predominantemente en fibras de tipo I.</p> <p>2. En las fibras de tipo IIa ni F (ejercicio en ayunas) ni CHO (alimentados antes del ejercicio) disminuyeron la IMTG. En cualquier condición, el IMTG tipo IIa no cambió durante la recuperación.</p> <p>3. Al final del período de recuperación de 4 h, el contenido de glucógeno muscular había aumentado significativamente en F ($P = 0,0001$) pero no en CHO. La tasa media de re-síntesis neta de glucógeno durante el período de recuperación fue aproximadamente 3 veces mayor en F que en CHO ($P = 0,02$; F: $32,9 \pm 2,7$, CHO: $11,0 \pm 7,8$ mmol kg⁻¹ h⁻¹). La velocidad fraccional de glucógeno sintasa (FV) antes del ejercicio se redujo en F. El ejercicio aumentó el FV en ambos grupos ($P = 0,0001$) y este aumento persistió durante todo el período de recuperación.</p> <p>4. En comparación con CHO, la expresión de ARNm de UCP3 antes del ejercicio fue mayor en F ($P = 0,01$). Hubo un aumento de 50% aproximadamente inducido por el ejercicio de la expresión de ARNm de UCP3 en F, mientras que no se observaron cambios en CHO.</p> <p>5. Desde el inicio hasta el final de la sesión de ejercicio de 2 h, la concentración de glucosa en sangre disminuyó en ambas condiciones experimentales ($P = 0,001$). Sin embargo, los valores en cualquier momento fueron inferiores en F que en CHO ($P = 0,001$). Al final del período de recuperación de 4 h, la glucosa en sangre fue similar entre las condiciones.</p> <p>6. Los FFA plasmática antes del ejercicio fue mayor ($P = 0,02$) y también aumentó marcadamente más durante el ejercicio en F que en CHO ($P = 0,02$). Después de la reposición de carbohidratos</p> |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|------------------------|-------------------------|---|
| | | <p>durante la recuperación, los niveles de FFA habían vuelto a valores bajos similares en ambos grupos. El curso temporal de los cambios de glicerol plasmático fue paralelo a los cambios de FFA.</p> <p>7.El aumento de la insulina plasmática asociado con la carga de carbohidratos orales durante la recuperación fue notablemente mayor en F que en CHO (P = 0,02). Por lo tanto, a diferencia de antes y después del ejercicio, al final del período de recuperación de 4 h, el nivel de insulina plasmática tendió a ser más alto en F que en CHO (P = 0,07).</p> <p>8.A partir de un nivel inicial similar, el ejercicio aumentó la adrenalina plasmática en F (P= 0.02) pero no en CHO. Los valores volvieron a la línea de base dentro de la ventana de recuperación de 4 h.</p> <p>9.La concentración plasmática de noradrenalina aumentó en el mismo grado con el ejercicio en ambos grupos. El ejercicio no afectó el cortisol plasmático. Sin embargo, después de la recuperación, en comparación con los valores previos al ejercicio, el cortisol plasmático disminuyó en F (P = 0,02) pero no en CHO.</p> <p>10. En F, la tasa de oxidación de grasas calculada fue mayor (P = 0.03), mientras que la tasa de oxidación de carbohidratos fue menor (P = 0.003). Además, la tasa de oxidación de grasas aumentó gradualmente, mientras que la oxidación de carbohidratos disminuyó a medida que avanzaba el ejercicio.</p> |
| atletas de resistencia | (Goedecke et al., 2000) | <p>1.A medida que aumentó la intensidad del ejercicio, hubo un aumento correspondiente en el RER. El RER aumentó de 0,817 ± 0,051 en reposo a 0,862 ± 0,037, 0,900 ± 0,040 y 0,976 ± 0,043 al 25, 50 y 70% de la W pico, respectivamente.</p> <p>2.El determinante clave al 25% W pico fue el sustrato transmitido por la sangre, al 50% fue el sustrato muscular y las actividades enzimáticas glucolíticas, y al 70% fue lactato.</p> |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|--|--|
| | (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016) | <p>1. La tasa máxima de oxidación de grasas fue $0,69 \pm 0,04$ g. min⁻¹</p> <p>2. Los niveles de glucosa capilar eran similares antes de las “pruebas de oxidación de grasas” en aquellos que alimentados CON y los que ayunaron (FAST)</p> <p>3. Los FFA plasmáticos aumentaron en pre-FAST(ayunaron) se incrementó en comparación con pre-CON (alimentados)(P < 0,01).</p> |
| | (Shimada et al., 2013) | <p>1. El ejercicio antes del desayuno se realizó con menor RER, en comparación con el después del desayuno ($0,89 \pm 0,01$ vs $0,94 \pm 0,01$, P < 0,01)</p> <p>2. La tasa promedio de oxidación de grasas fue mayor (P < 0.01) y la oxidación de carbohidratos fue menor (P < 0.01) por la mañana, cuando el ejercicio se realizó antes del desayuno</p> <p>3. Durante el resto del día, no hubo diferencias significativas en la tasa promedio de oxidación de carbohidratos y grasas entre las dos condiciones de ejercicio (el ejercicio antes del desayuno versus el ejercicio después del desayuno)</p> <p>4. La oxidación de grasas acumulada en 24 h fue mayor (720 ± 88 vs 608 ± 82 kcal, P < 0.05) y la oxidación de carbohidratos fue menor (1543 ± 82 vs 1669 ± 77 kcal / día, P < 0,05) cuando el ejercicio se realizó antes del desayuno.</p> <p>5. La excreción urinaria de nitrógeno no fue significativamente diferente entre los dos ensayos ($12,9 \pm 1,3$ frente a $12,1 \pm 1,0$ g / día, P > 0,5).</p> |

| Tipo de muestra | Autor/es | Adaptaciones energéticas |
|-----------------|-----------------------------|---|
| | (Aslankese r & Balci, 2017) | <p>1.El RER fue significativamente mayor en el grupo desentrenado que en el grupo de atletas (efecto de grupo; $F = 25.09$, $p < 0.05$). El RER disminuyó tanto en los grupos desentrenados ($p < 0.05$) como en los de atletas a medida que aumentan el número de los ejercicios de intervalos.</p> <p>2.Los atletas tuvieron tasas de oxidación de grasas significativamente más altas que los sujetos no entrenados en cada entrenamiento de intervalo durante la prueba (aproximadamente diecisiete veces) (efecto de grupo; $F = 15.66$, $p < 0.05$).</p> <p>3.Las tasas de oxidación de CHO en cada entrenamiento de intervalo y los cambios en las tasas de oxidación fueron similares para ambos grupos ($3,74 \pm 0,29$ g / min y $3,53 \pm 0,28$ g / min, respectivamente)</p> <p>4.La contribución de la grasa al gasto energético fue significativamente mayor en el grupo de atletas (~25%) que en el grupo sin entrenamiento (2%), y la contribución de CHO fue significativamente menor en el grupo de atletas en comparación con el grupo sin entrenamiento (~75% y ~98%, respectivamente) ($p < 0.05$).</p> <p>5.La concentración de lactato fue significativamente mayor en el grupo desentrenado que en el grupo de atletas durante el ejercicio en intervalos de alta intensidad (efecto de grupo; $F = 34.52$, $p < 0,05$). Los cambios en la concentración de lactato durante los entrenamientos de estos ejercicio fueron significativamente diferentes entre los grupos desentrenados y atletas (efecto del entrenamiento; $F = 8.45$, efecto de interacción grupo-entrenamiento; $F = 3.70$, $p < 0.05$), (8.23 ± 0.83 mmol / L y $3,86 \pm 0,42$ mmol / L, respectivamente).</p> |

Fuente: Autor

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio tuvo como objetivo describir las rutas metabólicas implicadas, las adaptaciones energéticas estimuladas, e identificar los posibles beneficios y perjuicios a nivel metabólico durante el entrenamiento en ayuno nocturno, en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos. La población del presente estudio fueron adultos jóvenes, con rango de edad de 18 a 40 años, ciclo de vida en donde se cuenta con: madurez física, sistemas corporales en estado ideal, fuerza y vitalidad muscular al límite, etapa en donde se opta por un conocimiento conforme a los cambios, con apreciación sensorial, intelectual y transformaciones físicas, coherentes consigo mismo (Petry, 2002). A efecto de la presente revisión, el ayuno se tomó con un período amplio comprendido entre 8 a 14 horas (Maughan, Fallah, & Coyle, 2010; Albero, Sanz, & Playán, 2004), teniendo en cuenta dos situaciones, la primera; el promedio de horas de sueño diarias en deportistas es de 7.2 ± 1.1 horas / noche (Leeder, Glaister, Pizzoferro, Dawson, & Pedlar, 2012; Vlahoyiannis et al., 2020) y la segunda, se tuvieron en cuenta los tiempo de desplazamiento, toma de muestras y mediciones, que se realizaron previo a la prueba experimental.

Sujetos Físicamente activos:

Se revisaron 7 artículos, en los que la población estudio fueron sujetos físicamente activos, de los cuales 4 evaluaron la oxidación de grasa durante el ejercicio evidenciándose mayor tasa de oxidación de grasas durante este en intensidades moderadas, es decir, que se encontraron mayormente implicadas las rutas metabólicas de la lipólisis del tejido adiposo y del músculo esquelético, beta oxidación lipídica. (Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011) (Gonzalez, Veasey, Rumbold, & Stevenson, 2013; Bachman, Deitrick, & Hillman, 2016) y los 3 artículos restantes evaluaron la respuesta metabólica después del ejercicio en ayunas, el artículo de Paoli et al., (2011), no evidenció mayor oxidación de grasas durante las 12 y 24 h posteriores al ejercicio cuando entrenaron en ayunas, en comparación del grupo que desayunó. De igual manera, Broad, Howe, McKie, Vanderheyden, & Hazell, (2020) demostraron que después de 3 horas de ejercicio hubo una menor oxidación de grasas, y el último artículo, evaluó la síntesis de proteína mixta y se pudo evidenciar una mayor proteólisis en todo el cuerpo en comparación de aquellos sujetos que ingirieron alimentos durante el ejercicio.

El efecto más relevante que mostraron los artículos al realizar entrenamiento en ayunas fue mayor oxidación de grasas mejorada, lo que se puede explicar así;

En primer lugar, al entrenar en ayunas de manera frecuente y por un largo periodo de tiempo, como lo realizó el estudio de Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel

(2011), se estimulan adaptaciones metabólicas en el músculo, en razón que al entrenar en un estado de agotamiento de glucógeno hepático y sin administración exógenos de CHO, promueve una mayor actividad de enzimas de citrato sintetasa (CS) y de β -hidroxiacil coenzima A deshidrogenasa β -HAD (Hansen et al., 2005; Yeo et al., 2008), tal como lo demostró anteriormente, (Stannard, Buckley, Edge, & Thompson, 2010), ya que estas enzimas están involucradas en la β -oxidación (De Bock et al., 2005b), facilitando así una regulación positiva de la capacidad oxidativa en las células musculares.

En segundo lugar, Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel (2011), observo que durante la prueba experimental la contribución de triglicéridos intramusculares como sustrato energético es importante para el músculo. Además, se pudo identificar en el estudio de De Bock et al., (2005), que durante el ejercicio submáximo de larga duración en ayunas, el agotamiento de los IMTG en las fibras tipo I en promedio fue del 60%, siendo estas las que prevalentemente se reclutan a bajas-moderadas intensidades pero además Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel (2011), encontró que al entrenar en ayunas, se indujo a una descomposición sustancial de IMGT tanto en las fibras tipo I como tipo II, ya que como se ha establecido, en intensidad moderada se reclutan en gran medida este tipo de fibras musculares (tipo II) a pesar que, contienen pequeñas cantidades de triglicéridos intramusculares en comparación con las fibras tipo I (Godin, Ascah, & Daussin, 2010). Por el contrario, los sujetos que consumieron CHO antes y durante el ejercicio se reprime la degradación de IMTG, ya que como se ha establecido previamente la ingesta de carbohidratos inhibe la oxidación de ácidos grasos durante el ejercicio (Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986). Esta respuesta se puede explicar porque como se mencionó en el estudio de De Bock et al., (2005), en el ejercicio en ayunas se presentó un aumento de la hormona adrenalina y bajos niveles de insulina en sangre, lo que lleva a un aumento de la hormona lipasa sensible a hormonas, la cual estimula la degradación de IMGT (Watt et al., 2004)

Sin embargo, cuando se evaluaron los efectos del periodo después del entrenamiento se encontraron discrepancias, ya que después de 12 y 24 h de realizado un ejercicio de 36 minutos en ayunas de intensidad moderada, se detectó que había una menor utilización de grasas, en comparación con los participantes que realizaron exactamente los mismos ejercicios, pero con ingesta de desayuno. (Paoli et al., 2011). Del mismo modo Broad, Howe, McKie, Vanderheyden, & Hazell, (2020) encontraron que la oxidación de grasas a las 3 h después del ejercicio fue menor en aquellos que no se alimentaron, en comparación con los que se alimentaron, esto es probablemente porque los participantes realizaron SIT, ejercicio caracterizado por ser de intensidad alta que se basa principalmente en la oxidación de CHO para la producción de energía (Brooks & Mercier, 1994), por lo cual no se presentó mayores diferencias con el grupo de participantes que se alimentaron previo

al ejercicio. En contraste a las investigaciones previas, Bachman et al., (2016), encontró que en el grupo de ayuno examinó un mayor aumento en la tasa de oxidación de grasas durante las 24 h posteriores al ejercicio y el mismo comportamiento se evidenció en el estudio Gonzalez, Veasey, Rumbold, & Stevenson, (2013), señalando que no solo hubo una mayor tasa de oxidación de grasas durante el ejercicio en ayunas sino que, después de 90 minutos de ejercicio de intensidad leve, se mostró una mayor oxidación de CHO y grasas en comparación de aquellos individuos que desayunaron previo al ejercicio.

Por lo anterior, se podría especular que en el músculo se aumentó el desglose de los triglicéridos intramusculares para la producción de energía y de esta manera se conserva el contenido de glucógeno muscular. Como se evidencio en el estudio de Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, (2011), el contenido de glucógeno aumentó en comparación del contenido de glucógeno muscular al inicio de la sesión experimental a pesar que la degradación neta de glucógeno muscular se mantuvo desde del inicio del experimento hasta el final (Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011). Así mismo, en la intervención de De Bock et al., (2005), se observó que durante las 4 horas en reposo después haber terminado la prueba experimental, la tasa media de re-síntesis de glucógeno muscular fue 3 veces mayor en los sujetos que ayunaron con una ingesta de CHO posterior al ejercicio en comparación de aquellos que consumieron CHO antes y durante la prueba. Por lo tanto, el entrenar en ayunas podría ser una estrategia beneficiosa para el aumento del contenido de glucógeno muscular y tener mayores reservas energética para aquellos periodos de alta intensidad. Solo 1 estudio que evaluó el contenido de glucógeno muscular después de las 2 h y 6 h de ejecutar la prueba experimental, se encontró menor contenido de este en aquellos sujetos que ayunaron en comparación con los que desayunaron antes de la prueba (Harber et al., 2010).

El entrenamiento en ayuno contribuye a la homeostasis de la glucosa en sangre, en vista que durante el ejercicio aeróbico se mantuvieron los niveles de glucosa estables en sangre (Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011), por lo que se puede decir que la provisión de glucosa está dada principalmente de la gluconeogénesis, en razón que el almacenamiento de glucógeno hepático se ha depletado por el ayuno nocturno (Winder, Terry, & Mitchell, 1985). Este mismo comportamiento se ha podido evidenciar después del ejercicio en el estudio de Wasserman & Cherrington, (1991).

Los datos actuales sugieren que el ejercicio en ayunas mejora la respuesta de la insulina después del ejercicio a la ingestión de glucosa, que a su vez probablemente contribuye a la estimulación de la resíntesis de glucógeno muscular después del ejercicio. Finalmente, la ingestión de carbohidratos, ya sea antes, durante o después del ejercicio, es un potente inhibidor de la expresión del gen de la proteína desacoplante 3 (UCP3) en el músculo

esquelético, el cual vela por proteger a la mitocondria del daño producido por exceder su capacidad oxidativa al haber un exceso de FFA ingresando en este organelo (De Bock et al., 2005). Se encontró que en condición de ejercicio en ayuno hay un aumento en el contenido de ARNm de UCP3 muscular, sin embargo, aún no son claros los mecanismos por los cuales esto sucede debido a que no se encontró relación directa entre los niveles plasmáticos de FFA y el contenido de ARNm de UCP3 durante el ejercicio (De Bock et al., 2005).

Años atrás, un estudio señaló que el entrenamiento de corto y largo plazo altera el metabolismo de las proteínas del músculo esquelético (Carraro, Stuart, Hartl, Rosenblatt, & Wolfe, 1990). Por lo cual se podría especular que después de un ejercicio de resistencia, si se continúa con el ayuno se podría aumentar la degradación de proteínas musculares (Sheffield-Moore et al., 2004) este hallazgo se explica por la elevación del cortisol que incita la degradación de las proteínas musculares (Del Corral, Howley, Hartsell, Ashraf, & Younger, 1998). Contrariamente, como se evidencia en la investigación de Harber et al., (2010), informó que justo después de realizar un ejercicio aeróbico en bicicleta a intensidad vigorosa (72% VO₂ max), se promueve la síntesis fraccional de músculos mixtos (FSR), independientemente de si hay o no suministro de alimentos al terminar el ejercicio, además el grupo que siguió con el ayuno después del ejercicio, como lo menciono Sheffield-Moore et al., (2004) presentó mayor degradación de las proteínas musculares que aumentan en comparación de aquellos que se alimentaron después del ejercicio. Esto se presenta por el incremento de la expresión de los marcadores proteolíticos del músculo como MuRF-1 y calpaína-2. En pocas palabras, se pudo concluir cuando se ingieren alimentos después del ejercicio en ayunas, se produce un entorno anabólico que mejorará la recuperación muscular y mejorará las adaptaciones al entrenamiento en esta condición, gracias a la disminución de los marcadores proteolíticos y el aumento de FSR (Harber et al., 2010).

A manera de resumen, en el entrenamiento en condición de ayuno nocturno, se da una respuesta endocrina en donde se aumentó el glucagón, cortisol y catecolaminas como la adrenalina, lipasa sensible a hormonas y disminución de la insulina, estimulan la lipólisis. Lo que lleva, a un aumento de los ácidos grasos plasma que son el sustrato energético predominante al realizar esta práctica, los cuales provienen de diferentes reservas corporales como lo son principalmente el tejido adiposo subcutáneo y visceral y como menciono anteriormente de los IMGT, de igual forma se aumenta la gluconeogénesis a partir de esqueletos carbonados como glicerol, lactato y aminoácidos (Watt et al., 2004; De Bock et al., 2005; von Oetinger G. & Trujillo Gittermann, 2015; y De Bock et al., 2005). Por último, como se mostró en el estudio de (Harber et al., 2010) se pudo concluir que se dio una marcada proteólisis del musculo, solo si se prolonga el ayuno después de realizado el ejercicio en ayunas.

Atletas de resistencia

En la actualidad hay pocos estudios que analizan los cambios en la oxidación de sustratos energéticos en atletas durante el entrenamiento en ayunas (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016), así como se puede visualizar en el presente estudio, sin embargo, en los atletas de resistencia es muy frecuente ver que el entrenamiento se realice posterior a un ayuno nocturno, práctica beneficiosa que aumenta la capacidad oxidativa muscular al igual, que se aumenta la oxidación de grasas durante el ejercicio; como se evidencio en los 4 estudios en atletas (anexo2) (Goedecke et al., 2000; Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016; Shimada et al., 2013; Aslankeser & Balci, 2017).

Shimada et al., (2013), examinó que el ejercicio realizado en estado de ayuno parece tener efectos sobre la utilización del sustrato no solo durante el ejercicio, sino también en el periodo posterior al ejercicio a través de diferentes mecanismos. En primer lugar, gracias a que se presenta una baja disponibilidad de carbohidratos endógenos y exógenos, lleva a un aumento en la oxidación de grasas (Schrauwen, van Marken Lichtenbelt, Saris, & Westerterp, 1997), porque cuando se entrena en ayuno nocturno, previamente se ha agotado el glucógeno hepático durante la noche (Wasserman & Cherrington, 1991), y al no haber ingesta energética, los niveles de insulina disminuyen y el cuerpo entra en estrés metabólico, por lo que eleva hormonas contrarreguladoras como epinefrina y el cortisol en plasma. Todo ello, hace que se estimule la oxidación de grasa del tejido adiposo y de los triglicéridos intramusculares (Binzen, Swan, & Manore, 2001). En segundo lugar, el periodo posterior al ejercicio crea un déficit de energía, provocando la fosforilación de la enzima piruvato deshidrogenasa en el músculo, reprimiendo la oxidación de CHO (Horowitz, Kaufman, Fox, & Harber, 2005).

Además, Shimada et al., (2013), evaluó el gasto energético 24 horas después del ejercicio en los atletas que lo realizaron al 50% VO₂max antes del desayuno, evidenciando que durante el ejercicio la tasa promedio de oxidación de grasas en horas de la mañana fue mayor y la oxidación de carbohidratos fue menor, en comparación de los atletas que desayunaron antes del ejercicio. No obstante, durante el resto del día, no se presentaron diferencias significativas en la tasa promedio de oxidación de carbohidratos y grasas entre, aquellos que desayunaron y aquellos que no lo hicieron antes del ejercicio.

Según Goedecke et al., (2000), a medida que aumenta la producción de potencia máxima, la intensidad del ejercicio se incrementa de igual manera que el RER. La oxidación del sustrato energético necesario para realizar la contracción muscular durante el entrenamiento en ayunas, no solo depende de la intensidad del ejercicio sino también de

la disponibilidad de sustrato y la capacidad del músculo para oxidar las grasas. Dentro de la disponibilidad de sustratos encontramos en primer lugar, las reservas corporales como es el caso del contenido de glucógeno hepático y muscular, triglicéridos del tejido adiposo y del músculo esquelético. En segundo lugar, se encuentran también concentraciones plasmáticas de metabolitos como el lactato y los ácidos grasos libres, entre otros (Goedecke et al., 2000)

En sujetos altamente entrenados al igual que en sujetos físicamente activos se sabe que, cuando realizan ejercicios de baja intensidad se oxidan grasas, por el contrario, en ejercicios de alta intensidad primordialmente se oxidan CHO (Romijn et al., 1993). Sin embargo, en el estudio anterior no se toma en cuenta la contribución de la oxidación del sustrato energético al gasto energético, como sí lo tuvo en cuenta Aslankeser & Balci, (2017), quien concluyó que al ejecutar ejercicios en intervalos de alta intensidad (80% VO₂ max) en ayunas la contribución de la grasa al gasto energético fue del 25% en atletas y la contribución de CHO al gasto energético fue del 75%. Además, se observaron algunas adaptaciones debido a que se mantuvo una alta tasa de oxidación de grasas durante el ejercicio en intervalos de alta intensidad con todas las cargas.

Ahora bien, gracias al riguroso entrenamiento e intervenciones nutricionales los atletas élite, tienen la capacidad de oxidación de grasas más alta, y se estima que en comparación con individuos alimentados podrían aumentar su máxima oxidación de grasa (MFO) en un 35% en ayunas (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016), como era de esperarse, el grupo de ayuno en intensidad a la que se produce la máxima oxidación de grasa Fatmax obtiene un RER reducido después de la recuperación del ejercicio, lo que señala que a intensidades más altas, se presenta una cantidad mucho mayor de energía procedente de la grasa. (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016). Estos datos se corroboran al encontrar niveles altos de ácidos grasos, cuerpos cetónicos y glicerol siendo estos, metabolitos de la degradación de triglicéridos (Hall, Edin, Pedersen, & Madsen, 2016).

Así mismo (Hetlelid, Plews, Herold, Laursen, & Seiler, 2015) evaluaron la tasa de oxidación del sustrato durante los ejercicios y los períodos de descanso entre los ejercicios de intervalos con una intensidad alta e indicó que el 33% del gasto energético total fue aportado por grasas en atletas durante una sesión de entrenamiento sin ayuno previo. Por lo tanto, se podría inferir que las adaptaciones musculares al aumento de la tasa de oxidación de grasas no se dan por el entrenamiento en ayunas, sino que se dan por el entrenamiento de resistencia de forma regular. Además, no se pueden llegar a conclusiones sólidas si se presenta una adaptación muscular por el hecho de entrenar en ayunas ya que esta práctica solo se realizó una vez, lo que probablemente para ver unas adaptaciones en el músculo es necesario realizarlo por períodos de tiempo más largo y de forma frecuente.

Al aumentarse las concentraciones de lactato en la sangre, se ha demostrado que los CHO se metabolizan anaeróbicamente. En los atletas se ha podido evidenciar a una alta capacidad aeróbica, ya que como se mostró en el estudio de Aslankeser & Balci, (2017), las concentraciones de lactato no cambiaron a lo largo de todas las cargas de trabajo en comparación de aquellos sujetos desentrenados. Lo anterior explica que en este suceso hay un equilibrio entre la producción de lactato y la eliminación de este, lo que señala que los ejercicios se realizan en un umbral más aeróbico (Tschakert & Hofmann, 2013; Billat, 2001). Del mismo modo para corroborar estos hallazgos, previamente se estableció que a mayor concentración de lactato en sangre durante el ejercicio, habrá una menor oxidación de grasas (Achten & Jeukendrup, 2004 ; Bircher & Knechtle, 2004; González-Haro, Galilea, González-de-Suso, Drobnic, & Escanero, 2007).

Por otro lado, Shimada et al., (2013), vio la necesidad de averiguar si por la depleción de glucógeno que se da al entrenar en ayunas, puede llegar a promover el catabolismo de proteínas. Pero observó que no aumentó la excreción urinaria de nitrógeno de 24 horas. Por lo cual se puede especular que no se presentó proteólisis del músculo esquelético.

Beneficios del entrenamiento en ayuno nocturno

1. El entrenamiento en ayuno nocturno incentiva adaptaciones celulares en el músculo esquelético, con el fin de posibilitar una mayor capacidad oxidativa, aspecto importante que contribuye a mejorar la potencia aeróbica con lo que podrá ganar un mayor rendimiento en eventos deportivos de resistencia. (Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011).
2. A pesar de que muchos de los diseños experimentales evaluaron los efectos agudos en donde realizaba una sesión del entrenamiento en ayuno, en esta se logró evidenciar una respuesta metabólica diferencial al aumentar la oxidación de grasas durante el ejercicio tanto en atletas como en sujetos físicamente activos.

Perjuicios del entrenamiento en ayuno nocturno

1. Como previamente se mencionó, el entrenamiento en estado de ayuno aumenta la oxidación de grasa, esto produce una elevación de FFA en plasma, los cuales se dirigen a la mitocondria para producir energía necesaria, esto podría traer un daño mitocondrial producido por exceder su capacidad oxidativa. (De Bock et al., 2005).
2. No necesariamente, al poseer una buena capacidad de oxidación de grasas, significa que se logre un óptimo rendimiento en la actividad de resistencia. (Van Proeyen,

Szlufcik, Nielens, Ramaekers, & Hespel, 2011). Ya que el rendimiento deportivo depende de muchos factores como factores ambientales, factores psicológicos, fisiológicos entre otros (Boullosa et al., 2020).

8. CONCLUSIONES

1. Según los estudios incluidos en esta revisión, las rutas metabólicas implicadas durante el entrenamiento en ayuno nocturno en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos fueron, primordialmente la lipólisis del tejido adiposo y del músculo esquelético, beta oxidación, glucogenólisis muscular gluconeogénesis, y las menos estudiadas fueron la cetogénesis y la proteólisis.

2. Las adaptaciones energéticas estimuladas por el entrenamiento a intensidad moderada en ayuno nocturno en sujetos físicamente activos registraron un aumento del glucógeno muscular en el postentrenamiento gracias, a una mayor dependencia de la lipólisis del tejido adiposo y del músculo esquelético, acompañado de una mayor beta oxidación durante el ejercicio.

3. Las adaptaciones energéticas estimuladas por el entrenamiento en ayuno nocturno en los atletas de resistencia obtuvieron una mayor capacidad oxidativa dentro de un umbral más aeróbico, lo que da respuesta a una mayor tasa de oxidación de grasas durante y después del ejercicio independientemente, de la intensidad en la que se trabaje en comparación aquellos atletas que desayunaron antes del ejercicio.

4. El entrenamiento en ayunas es una estrategia útil para los atletas de resistencia debido a que estimularon adaptaciones energéticas en el músculo esquelético, en donde se aumentó la capacidad oxidativa, presentando así mayor eficiencia en la oxidación de grasas durante el ejercicio e igualmente en un menor porcentaje se denoto un aumento en las reservas de CHO en el músculo esquelético después del ejercicio. Aspectos relevantes que pueden contribuir a mejorar el rendimiento del ejercicio de resistencia.

5. Es necesario que se realicen más estudios controlados aleatorizados en atletas de resistencia y sujetos físicamente activos por un periodo de tiempo mayor a 4 semanas, debido a que no se puede llegar a conclusiones sólidas sobre si se presentan adaptaciones energéticas por el hecho de entrenar en ayunas ya que en la mayoría de los estudios solo se realizó un entrenamiento en ayunas, lo que probablemente para ver adaptaciones en el músculo es necesario realizarlo por períodos de tiempo más largo y de forma frecuente. Y así generar recomendaciones, si a largo plazo mejora el rendimiento y la capacidad para mantener el ejercicio de resistencia.

6. Se recomienda en aquellos atletas de resistencia y sujetos físicamente activos no prolongar el ayuno después de realizado el ejercicio ya que puede presentar un impacto negativo en el catabolismo proteico a nivel muscular y se estaría así disminuyendo la ventana de tiempo de alimentación lo que puede llevar a menor ingesta de alimento desencadenando un balance energético negativo y un posible deterioro en el rendimiento deportivo al no cumplir con su requerimiento dietario diario.

9. LIMITACIONES

1. Limitación en el tamaño de muestra: En razón que el tamaño de la muestra es pequeño, y además la población encontrada fue de hombres en un 90% y de mujeres en un porcentaje menor del 10%, fue difícil encontrar información amplia y significativa, que mostrará un panorama global y estadístico sobre tema objeto de estudio.

2. Limitaciones informadas por estudios incluidos: A pesar que se hizo una revisión exhaustiva de la Bibliografía, en artículos publicados tanto en español como en inglés entre 2000 y 2020, en donde se incluyeron 12 artículos de las de diferentes bases de datos relacionados con el tema, en los que el 33% de ellos hacen referencia a limitaciones.

3. Limitación en el cálculo de la oxidación de grasa: Cuando se habla que la oxidación de proteínas permanece constante, se está partiendo de un supuesto para afirmar que se presentan varias limitaciones, para hallar los cálculos de la grasa, dada la duración del ayuno y las reservas bajas de glucógeno posterior al ejercicio y al ayuno. Los datos de la literatura indican alrededor del 2% de oxidación de proteínas en el estado de alimentación normal y alrededor del 5% -7% en el estado de depleción de glucógeno (Blomstrand y Saltin 1999; Rennie et al. 2006).

10. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más investigaciones sobre las adaptaciones energéticas al llevar a cabo entrenamiento en estado de ayuno nocturno, con un mayor número de sujetos entrenados y durante un tiempo significativo, con el fin de poder obtener resultados representativos.

2. En razón que la muestra y la mayoría de intervenciones se realizaron en sujetos de sexo masculino, creería conveniente realizar un estudio con igual número de hombres e igual número de mujeres en las mismas condiciones ambientales, para hacer un comparativo entre estos, con el fin de evitar sesgos en el mismo y así poder hacer un análisis más profundo.

11. REFERENCIAS

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Maximal Fat Oxidation during Exercise in Trained Men. *International Journal of Sports Medicine*, 24(8), 603–608.
<https://doi.org/10.1055/s-2003-43265>
- Achten, Juul, & Jeukendrup, A. E. (2004). Relation Between Plasma Lactate Concentration and Fat Oxidation Rates Over a Wide Range of Exercise Intensities. *International Journal of Sports Medicine*, 25(1), 32–37. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45231>
- ACSM. (2009). Nutrition and Athletic Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 709–731. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.1973.tb00679.x>
- Albero, R., Sanz, A., & Playán, J. (2004). Metabolismo en el ayuno. *Endocrinología y Nutrición*, 51(4), 139–148. [https://doi.org/10.1016/s1575-0922\(04\)74599-4](https://doi.org/10.1016/s1575-0922(04)74599-4)
- American College of Sports Medicine. (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. En L. Pescatello, R. Arena, D. Riebe, & P. Thompson (Eds.), *Medicine & Science in Sports & Exercise* (Ninth). Wolters Kluwer.
- American Heart Association. (2016). Blood Pressure vs. Heart Rate (Pulse). Recuperado de <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/blood-pressure-vs-heart-rate-pulse>
- Aslankeser, Z., & Balci, Ş. S. (2017). Re-examination of the contribution of substrates to energy expenditure during high-intensity intermittent exercise in endurance athletes. *PeerJ*, (9), 1–16. <https://doi.org/10.7717/peerj.3769>
- Baar, K., & McGee, S. (2008). Optimizing training adaptations by manipulating glycogen. *European Journal of Sport Science*, 8(2), 97–106.
<https://doi.org/10.1080/17461390801919094>
- Bachman, J. L., Deitrick, R. W., & Hillman, A. R. (2016). Exercising in the Fasted State Reduced 24-Hour Energy Intake in Active Male Adults. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/1984198>
- Baranauskas, M., Stukas, R., Tubelis, L., Žagminas, K., Šurkiene, G., Švedas, E., ... Abaravičius, J. A. (2015). Nutritional habits among high-performance endurance athletes. *Medicina (Lithuania)*, 51(6), 351–362.
<https://doi.org/10.1016/j.medic.2015.11.004>
- Bartlett, J. D., Hawley, J. A., & Morton, J. P. (2015). Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? *European Journal of Sport Science*, 15(1), 3–12. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.920926>
- Bergman, B. C., & Brooks, G. A. (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*, 86(2), 479–487. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.2.479>
- Billat, L. V. (2001). Interval Training for Performance: A Scientific and Empirical Practice.

- Sports Medicine*, 31(1), 13–31. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>
- BINZEN, C. A., SWAN, P. D., & MANORE, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 932–938. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00012>
- Bircher, S., & Knechtle, B. (2004). Relationship between Fat Oxidation and Lactate Threshold in Athletes and Obese Women and Men. *Journal of sports science & medicine*, 3(3), 174–181. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24482595>
- Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyré-Tartaruga, L. A., Gomes da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020). Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports*, 8(3), 35. <https://doi.org/10.3390/sports8030035>
- Broad, A. A., Howe, G. J., McKie, G. L., Vanderheyden, L. W., & Hazell, T. J. (2020). The effects of a pre-exercise meal on postexercise metabolism following a session of sprint interval training. Accepted manuscript. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 1–38. Recuperado de <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/99890>
- Broeder, C., & Svanevik, S. (1992). The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Horizon*, (11), 802–810.
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *Journal of Applied Physiology*, 76(6), 2253–2261. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253>
- Carraro, F., Stuart, C. A., Hartl, W. H., Rosenblatt, J., & Wolfe, R. R. (1990). Effect of exercise and recovery on muscle protein synthesis in human subjects. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 259(4), E470–E476. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1990.259.4.E470>
- Chaouachi, A., Leiper, J. B., Chtourou, H., Aziz, A. R., & Chamari, K. (2012). The effects of Ramadan intermittent fasting on athletic performance: Recommendations for the maintenance of physical fitness. *Journal of Sports Sciences*, 30(Suppl.1), S53–S73. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.698297>
- Chaouachi, A., Leiper, J. B., Souissi, N., Coutts, A. J., & Chamari, K. (2009). Effects of ramadan intermittent fasting on sports performance and training: A review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(4), 419–434. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.4.419>
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165–172. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.61.1.165>
- De Bock, K., Derave, W., Eijnde, B. O., Hesselink, M. K., Koninckx, E., Rose, A. J., ...

- HespeL, P. (2008). Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *Journal of Applied Physiology*, 104(4), 1045–1055. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01195.2007>
- De Bock, K., Richter, E. A., Russell, A. P., Eijnde, B. O., Derave, W., Ramaekers, M., ... HespeL, P. (2005a). Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. *Journal of Physiology*, 564(2), 649–660. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.083170>
- De Bock, K., Richter, E. A., Russell, A. P., Eijnde, B. O., Derave, W., Ramaekers, M., ... HespeL, P. (2005b). Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. *The Journal of Physiology*, 564(2), 649–660. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.083170>
- Del Corral, P., Howley, E. T., Hartsell, M., Ashraf, M., & Younger, M. S. (1998). Metabolic effects of low cortisol during exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 84(3), 939–947. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.3.939>
- Deuster, P. A., & Heled, Y. (2008). Testing for Maximal Aerobic Power. En *The Sports Medicine Resource Manual* (Second Edi). <https://doi.org/10.1016/B978-141603197-0.10069-2>
- Doyle, J. A., Papadopoulos, C., & Green, M. S. (2008). Utilization of Carbohydrates in Energy Production. En I. Wolinsky & J. A. Driskell (Eds.), *Sports Nutrition Energy Metabolism and Exercise* (pp. 25–46). CRC Press by Taylor & Francis Group.
- Dubé, J. J., Broskey, N., Despines, A. A., Stefanovic, M., Toledo, F. G. S., Goodpaster, B. H., & Amati, F. (2017). Muscle Characteristics and Substrate Energetics in Lifelong Endurance Athletes. *Physiology & behavior*, 48(3), 2–19. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162–184. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
- Enoksen, E., Tjelta, A. R., & Tjelta, L. I. (2011). Distribution of training volume and intensity of elite male and female track and marathon runners. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 6(2), 273–293. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.2.273>
- Gerich, J. E., Meyer, C., Woerle, H. J., & Stumvoll, M. (2001). Renal gluconeogenesis. *Diabetes Care*, 24(2), 382–391. <https://doi.org/10.2337/diacare.24.2.382>
- Godin, R., Ascah, A., & Daussin, F. N. (2010). Intensity-dependent activation of intracellular signalling pathways in skeletal muscle: Role of fibre type recruitment during exercise. *Journal of Physiology*, 588(21), 4073–4074. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.195925>

- Goedecke, J. H., Levitt, N. S., St. Clair Gibson, A., Grobler, L., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (2001). Insulin sensitivity measured by the minimal model: No associations with fasting respiratory exchange ratio in trained athletes. *Metabolism: Clinical and Experimental*, *50*(11), 1286–1293. <https://doi.org/10.1053/meta.2001.27226>
- Goedecke, Julia H., Gibson, A. S. C., Grobler, L., Collins, M., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (2000). Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *279*(6), 1325–1334. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.279.6.e1325>
- González-Haro, C., Galilea, P. A., González-de-Suso, J. M., Drobnic, F., & Escanero, J. F. (2007). Maximal lipidic power in high competitive level triathletes and cyclists. *British journal of sports medicine*, *41*(1), 23–28. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.029603>
- Gonzalez, J. T., Fuchs, C. J., Betts, J. A., & van Loon, L. J. C. (2016). Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *311*(3), E543–E553. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00232.2016>
- Gonzalez, J. T., Veasey, R. C., Rumbold, P. L. S., & Stevenson, E. J. (2013). Breakfast and exercise contingently affect postprandial metabolism and energy balance in physically active males. *British Journal of Nutrition*, *110*(4), 721–732. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005582>
- Guirao Goris, S. J. A. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Ene*, *9*(2), 0–0. <https://doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- Gupta, R., Ramachandran, R., Venkatesan, P., Anoop, S., Joseph, M., & Thomas, N. (2017). Indirect calorimetry: From bench to bedside. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, *21*(4), 594–599. https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM_484_16
- Hall, U. A., Edin, F., Pedersen, A., & Madsen, K. (2016). Whole-body fat oxidation increases more by prior exercise than overnight fasting in elite endurance athletes. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *41*(4), 430–437. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0452>
- Hansen, A. K., Fischer, C. P., Plomgaard, P., Andersen, J. L., Saltin, B., & Pedersen, B. K. (2005). Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. *Journal of Applied Physiology*, *98*(1), 93–99. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00163.2004>
- Harber, M. P., Konopka, A. R., Jemiolo, B., Trappe, S. W., Trappe, T. A., & Reidy, P. T. (2010). Muscle protein synthesis and gene expression during recovery from aerobic exercise in the fasted and fed states. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, *299*(5), 1254–1262. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00348.2010>

- Hawkins, M. N., Raven, P. B., Snell, P. G., Stray-gundersen, J., Levine, B. D., & Worth, F. (2007). Maximal Oxygen Uptake as a Parametric Measure of Cardiorespiratory Capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(1), 103–107. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64>
- Hawley, J. A., & Leckey, J. J. (2015). Carbohydrate Dependence During Prolonged, Intense Endurance Exercise. *Sports Medicine*, 45(1), 5–12. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0400-1>
- Harris, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. *Nutrients*, 10(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/nu10030298>
- Herdy, A. H., & Souza, P. de. (2019). Comparative Analysis of Direct and Indirect Methods for the Determination of Maximal Oxygen Uptake in Sedentary Young Adults. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, 32(4), 362–367. <https://doi.org/10.5935/2359-4802.20190052>
- Hetlelid, K. J., Plews, D. J., Herold, E., Laursen, P. B., & Seiler, S. (2015). Rethinking the role of fat oxidation: substrate utilisation during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 1(1), e000047. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000047>
- Horowitz, J. F., Kaufman, A. E., Fox, A. K., & Harber, M. P. (2005). Energy deficit without reducing dietary carbohydrate alters resting carbohydrate oxidation and fatty acid availability. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1612–1618. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00936.2004>
- Iwayama, K., Kawabuchi, R., Park, I., Kurihara, R., Kobayashi, M., Hibi, M., ... Tokuyama, K. (2015). Transient energy deficit induced by exercise increases 24-h fat oxidation in young trained men. *Journal of Applied Physiology*, 118(1), 80–85. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00697.2014>
- J. Maughan, R., Greenhaff, P. L., Leiper, J. B., Ball, D., Lambert, C. P., & Gleeson, M. (1997). Diet composition and the performance of high-intensity exercise. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 265–275. <https://doi.org/10.1080/026404197367272>
- Jensen, M. D., Ekberg, K., & Landau, B. R. (2001). Lipid metabolism during fasting. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 281(4 44-4), 789–793. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.281.4.e789>
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), S91–S99. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.610348>
- Lange, P., Moreno, M., Silvestri, E., Lombardi, A., Goglia, F., & Lanni, A. (2007). Fuel economy in food-deprived skeletal muscle: signaling pathways and regulatory mechanisms. *The FASEB Journal*, 21(13), 3431–3441. <https://doi.org/10.1096/fj.07-8527rev>

- Leeder, J., Glaister, M., Pizzoferro, K., Dawson, J., & Pedlar, C. (2012). Sleep duration and quality in elite athletes measured using wristwatch actigraphy. *Journal of Sports Sciences*, *30*(6), 541–545. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.660188>
- López, C. J., & Fernández Vaquero, A. (2006). Fisiología del Ejercicio. En Editorial Médica Panamericana (Ed.), *Fisiología del Ejercicio* (p. 987). Madrid, España.
- Maughan, R. J., Fallah, J. S., & Coyle, E. F. (2010). The effects of fasting on metabolism and performance. *British Journal of Sports Medicine*, *44*(7), 490–494. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.072181>
- Miller, J. A. (2017). The Running Bubble Has Popped. Recuperado de The New York Times. website: <https://www.nytimes.com/2017/11/05/sports/ny-marathon-running.html>
- Ministerio de salud Colombia. (2016). Resolución número 3803 de Recomendaciones de ingesta de energía y nutrientes (RIEN) para la población Colombiana. *22 De Agosto*, p. 26. Recuperado de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución 3803 de 2016.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%203803%20de%202016.pdf)
- Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: Is it bad for you? *Breathe*, *12*(2), 140–147. <https://doi.org/10.1183/20734735.007016>
- Moro, T., Tinsley, G., Bianco, A., Marcolin, G., Pacelli, Q. F., Battaglia, G., ... Paoli, A. (2016). Effects of eight weeks of time-restricted feeding (16/8) on basal metabolism, maximal strength, body composition, inflammation, and cardiovascular risk factors in resistance-trained males. *Journal of Translational Medicine*, *14*(290), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-1044-0>
- Nybo, L., Pedersen, K., Christensen, B., Aagaard, P., Brandt, N., & Kiens, B. (2009). Impact of carbohydrate supplementation during endurance training on glycogen storage and performance. *Acta Physiologica*, *197*(2), 117–127. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2009.01996.x>
- Paoli, A., Marcolin, G., Zonin, F., Neri, M., Sivieri, A., & Pacelli, Q. F. (2011). 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. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *21*(1), 48–54. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.1.48>
- Patel, H., Kerndt, C., & Bhardwaj, A. (2020). *Physiology, Respiratory Quotient*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531494/>
- Petersen, M. C., Vatner, D. F., & Shulman, G. I. (2017). Regulation of hepatic glucose metabolism in health and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, *13*(10), 572–587. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Petry, N. M. (2002). A Comparison of Young, Middle-Aged, and Older Adult Treatment-Seeking Pathological Gamblers. *The Gerontologist*, *42*(1), 92–99.

<https://doi.org/10.1093/geront/42.1.92>

- Philp, A., Hargreaves, M., & Baar, K. (2012). More than a store: Regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *302*(11), 1343–1351.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.00004.2012>
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *265*(3), E380–E391.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>
- Rothman, D., Magnusson, I., Katz, L., Shulman, R., & Shulman, G. (1991). Quantitation of hepatic glycogenolysis and gluconeogenesis in fasting humans with ¹³C NMR. *Science*, *254*(5031), 573–576. <https://doi.org/10.1126/science.1948033>
- Rothschild, J. A., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2020). Prevalence and Determinants of Fasted Training in Endurance Athletes: A Survey Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *30*(5), 1–12.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0109>
- Rui, L. (2014). Energy Metabolism in the Liver. *Compr Physiol*, *4*(1), 177–197.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c130024>.Energy
- Salar, N. V., Otegui, A. U., & Collado, E. R. (2015). Endurance training in fasting conditions: biological adaptations and body weight management. *Nutricion Hospitalaria*, *32*(6), 2409–2420. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.6.9488>
- Salgin, B., Marcovecchio, M. L., Humphreys, S. M., Hill, N., Chassin, L. J., Lunn, D. J., ... Dunger, D. B. (2009). Effects of prolonged fasting and sustained lipolysis on insulin secretion and insulin sensitivity in normal subjects. *Physiol Endocrinol Metab*, *454*–461. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90613.2008>.
- Sánchez, F., & García, A. (2017). Sobreentrenamiento y deporte desde una perspectiva psicológica: estado de la cuestión. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte y el Ejercicio Físico*, *2*(2), 1–12. <https://doi.org/10.5093/rpadef2017a8>
- Sarzynski, M. A., Rankinen, T., Earnest, C. P., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., & Bouchard, C. (2013). Measured maximal heart rates compared to commonly used age-based prediction equations in the heritage family study. *American Journal of Human Biology*, *25*(5), 695–701. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22431>
- SARZYNSKI, M. A., RANKINEN, T., EARNEST, P., LEON, A., & RAO, D. (2014). *Measured Maximal Heart Rates Compared to Commonly Used Age-Based Prediction Equations in the Heritage Family Study*. *25*(5), 695–701.
<https://doi.org/10.1002/ajhb.22431>.Measured
- Schrauwen, P., van Marken Lichtenbelt, W. D., Saris, W. H., & Westerterp, K. R. (1997). Role of glycogen-lowering exercise in the change of fat oxidation in response to a

- high-fat diet. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 273(3), E623. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1997.273.3.E623>
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.276>
- Sheffield-Moore, M., Yeckel, C. W., Volpi, E., Wolf, S. E., Morio, B., Chinkes, D. L., ... Wolfe, R. R. (2004). Postexercise protein metabolism in older and younger men following moderate-intensity aerobic exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 287(3), E513–E522. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00334.2003>
- Shilton, A. C. (s/f). Let's Try a Triathlon. Recuperado de The New York Times. website: <https://www.nytimes.com/guides/well/triathlon-training>
- Shimada, K., Yamamoto, Y., Iwayama, K., Nakamura, K., Yamaguchi, S., Hibi, M., ... Tokuyama, K. (2013). Effects of post-absorptive and postprandial exercise on 24 h fat oxidation. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 62(6), 793–800. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.12.008>
- Simonson, D. C., & DeFronzo, R. A. (1990). Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 258(3), E399–E412. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1990.258.3.E399>
- Smith, R. L., Soeters, M. R., Wüst, R. C. I., & Houtkooper, R. H. (2018). Metabolic flexibility as an adaptation to energy resources and requirements in health and disease. *Endocrine Reviews*, 39(4), 489–517. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00211>
- Stannard, S. R., Buckley, A. J., Edge, J. A., & Thompson, M. W. (2010). Adaptations to skeletal muscle with endurance exercise training in the acutely fed versus overnight-fasted state. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 465–469. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.03.002>
- Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6, 295. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
- Swain, D. P., Leutholtz, B. C., King, M. E., Haas, L. A., & David Branch, J. (1998). Relationship between % heart rate reserve and % $\dot{V}O_2$ reserve in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 318–321. <https://doi.org/10.1097/00005768-199802000-00022>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 501–528. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Tinsley, G. M., & La Bounty, P. M. (2015). Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutrition Reviews*, 73(10), 661–

674. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv041>
- Tschakert, G., & Hofmann, P. (2013). High-Intensity Intermittent Exercise: Methodological and Physiological Aspects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 600–610. <https://doi.org/10.1123/ijssp.8.6.600>
- Van Loon, L. J. C., Greenhaff, P. L., Teodosiu, C. D., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. M. (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *Journal of Physiology*, 536(1), 295–304. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00295.x>
- Van Proeyen, K., Szlufcik, K., Nielens, H., Ramaekers, M., & Hespel, P. (2011). Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *Journal of Applied Physiology*, 110(1), 236–245. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00907.2010>
- Vlahoyiannis, A., Aphas, G., Bogdanis, G. C., Sakkas, G. K., Andreou, E., & Giannaki, C. D. (2020). Deconstructing athletes' sleep: A systematic review of the influence of age, sex, athletic expertise, sport type, and season on sleep characteristics. *Journal of Sport and Health Science*, 1(17), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.03.006>
- von Oetinger G., A., & Trujillo Gittermann, L. M. (2015). Metabolic benefits of exercise in the fasted state. *Revista Chilena de Nutricion*, 42(2), 145–150. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200005>
- Wasserman, D. H., & Cherrington, A. D. (1991). Hepatic fuel metabolism during muscular work: role and regulation. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 260(6), E811–E824. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1991.260.6.E811>
- Watt, M. J., Holmes, A. G., Steinberg, G. R., Mesa, J. L., Kemp, B. E., & Febbraio, M. A. (2004). Reduced plasma FFA availability increases net triacylglycerol degradation, but not GPAT or HSL activity, in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 287(1), E120–E127. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00542.2003>
- WHO. (2018). Physical activity. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Winder, W. W., Terry, M. L., & Mitchell, V. M. (1985). Role of plasma epinephrine in fasted exercising rats. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 248(3), R302–R307. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1985.248.3.R302>
- Yeo, W. K., Paton, C. D., Garnham, A. P., Burke, L. M., Carey, A. L., & Hawley, J. A. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *Journal of Applied Physiology*, 105(5), 1462–1470. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90882.2008>
- Zouhal, H., Saeidi, A., Salhi, A., Li, H., Essop, M. F., Laher, I., ... Ben Abderrahman, A. (2020). Exercise Training and Fasting: Current Insights. *Open Access Journal of*

Sports Medicine, 11, 1–28. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s224919>

12. ANEXOS

Anexo 1. Tabla 4. Descriptores de la búsqueda en las bases de datos seleccionadas.

| Base de datos | Fecha de la búsqueda | Filtros de búsqueda | Estrategia exacta de búsqueda |
|----------------|----------------------|------------------------------|---|
| PubMed | 17/09/2020 | Title/ Abstract | ((athlete*[Title/Abstract] OR "endurance training"[Title/Abstract] OR "endurance athletes"[Title/Abstract] OR well-trained[Title/Abstract] OR "active male"[Title/Abstract] OR "active women"[Title/Abstract] OR "physically active"[Title/Abstract]) AND (fasting[Title/Abstract] OR "overnight fasting"[Title/Abstract] OR "fasted state"[Title/Abstract])) AND ("energy metabolism"[Title/Abstract] OR metabolism[Title/Abstract] OR "fat metabolism"[Title/Abstract] OR lipolysis[Title/Abstract] OR glycogenolysis[Title/Abstract] OR gluconeogenesis[Title/Abstract] OR glycolysis[Title/Abstract] OR citric acid cycle[Title/Abstract] OR proteolysis[Title/Abstract] OR "metabolic adaptations"[Title/Abstract] OR RER[Title/Abstract] OR "respiratory exchange ratio"[Title/Abstract] OR indirect calorimetry*[Title/Abstract])) NOT (diabetes [Title/Abstract] OR mice [Title/Abstract] OR animals [Title/Abstract] OR overweight [Title/Abstract] OR obese [Title/Abstract] OR supplementation [Title/Abstract] OR sedentary [Title/Abstract] OR "cardiovascular disease" [Title/Abstract] OR "metabolic syndrome" [Title/Abstract] OR "dietary restriction" [Title/Abstract] OR "caloric restriction" [Title/Abstract] OR ramadan [Title/Abstract] OR "high-fat diet"[Title/Abstract] OR "ketogenic diet" [Title/Abstract] OR elderly [Title/Abstract] OR ancient [Title/Abstract] OR bone [Title/Abstract] OR cancer [Title/Abstract] OR diver* [Title/Abstract] OR child* [Title/Abstract] OR kid [Title/Abstract] OR infant [Title/Abstract] OR rat* [Title/Abstract] OR iron [Title/Abstract] OR metformin [Title/Abstract] OR spirulina [Title/Abstract] OR hematological [Title/Abstract] OR caffeine [Title/Abstract] OR postmenopausal [Title/Abstract] OR ascorbate [Title/Abstract] OR "spinal cord injury" [Title/Abstract] OR pregnant[Title/Abstract]) |
| Scopus | 17/09/2020 | Title/Abstract/ key words | (TITLE-ABS-KEY (athlete* OR "endurance training" OR "endurance athlete*" OR well-trained OR "active male" OR "active women" OR "physically active") AND TITLE-ABS-KEY (fasting OR "overnight fasting" OR "fasted state" OR ("Exercise W/2 fasted state") OR (train* W/2 fast*) OR (train* W/3 fast*) OR (fast* W/2 endurance AND athlete*) OR (fasting W/2 endurance AND exercise) OR "fast* train*") AND TITLE-ABS-KEY ("energy metabolism" OR metabolism OR "fat metabolism" OR lipolysis OR glycogenolysis OR gluconeogenesis OR glycolysis OR "citric acid cycle" OR proteolysis OR "metabolic adaptations" OR "respiratory exchange ratio" OR RER OR indirect calorimetry*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (diabetes OR mice OR animals OR overweight OR obese OR supplementation OR sedentary OR "cardiovascular disease" OR "metabolic syndrome" OR "dietary restriction" OR "caloric restriction" OR obese OR ramadan OR "high-fat diet") AND NOT TITLE-ABS-KEY ("ketogenic diet" OR elderly OR ancient OR bone OR cancer OR diver* OR child* OR kid OR infant OR rat OR iron OR metformin OR spirulina OR hematological OR caffeine OR postmenopausal OR ascorbate OR "spinal cord injury" OR pregnat)) AND PUBYEAR > 1999 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) |
| Web of Science | 17/09/2020 | Topic | TOPIC: (athlete* OR "endurance training" OR "endurance athletes" OR well-trained OR "active male" OR "active women" OR "physically active") AND TOPIC: ("energy metabolism" OR metabolism OR "fat metabolism" OR lipolysis OR glycogenolysis OR gluconeogenesis OR glycolysis OR citric acid cycle OR proteolysis OR "metabolic adaptations" OR "substrate metabolism" OR RER OR "respiratory exchange ratio" OR indirect calorimetry*) AND TOPIC: (fasting OR "overnight fasting" OR "fasted state" OR ("Exercise NEAR/2 fasted state") OR (train* NEAR/2 fast*) OR (train* NEAR/3 fast*) OR (fast* NEAR/2 endurance athlete*) OR (fasting NEAR/2 endurance exercise) OR "fast* train*") NOT TOPIC: (diabetes OR mice or animals OR overweight OR obese OR supplementation OR sedentary OR "cardiovascular disease" OR "metabolic syndrome" OR "dietary restriction" OR "caloric restriction" OR ramadan OR "high-fat diet" OR "ketogenic diet" OR elderly OR ancient OR bone OR cancer OR diver* OR child* OR kid OR infant OR rat OR iron OR metformin OR spirulina OR hematol ogical OR caffeine OR postmenopausal OR ascorbate OR "spinal cord injury" OR pregnant OR "intestinal permeability" OR calcium OR fishes OR outpatient) |

| Base de datos | Fecha de la búsqueda | Filtros de búsqueda | Estrategia exacta de búsqueda |
|---------------|----------------------|---------------------|---|
| EbscoHost | 17/09/2020 | Abstract | AB (athlete* OR "endurance training" OR "endurance athletes" OR well-trained OR "active male" OR "active women" OR "physically active") AND AB ("exercise in the fast*" OR "training in the fasted" OR "training in fasted" OR exercise* fast* OR "overnight fasting" OR "fasted state") AND AB ("energy metabolism" OR metabolism OR "fat metabolism" OR lipolysis OR glycogenolysis OR gluconeogenesis OR glycolysis OR citric acid cycle OR proteolysis OR "metabolic adaptations" OR RER OR "respiratory exchange ratio" OR indirect calorimetry*) NOT (diabetes OR mice OR animals OR overweight OR obese OR supplementation or sedentary OR "cardiovascular disease" OR "metabolic syndrome" OF "dietary restriction" OR "caloric restriction" OR ramadan OR "high-fat diet" OR "ketogenic diet" OR elderly OR ancient OR bone OR cancer OR diver* OR child* OR kid OR infant OR rat OR iron OR metformin OR spirulina OR hematological OR caffeine OR postmenopausal OR ascorbate OR "spinal cord injury" OR pregnant OR "intestinal permeability" OR calcium OR fishes OR outpatient) |

Fuente: Autor.

Anexo 2.

Tabla 2. Matriz de las características y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión.

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|---|---------------------------------|---|---|--|---|---|---|--------------------------|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| Van Proeyen, K., Szlufcik, K., Nielens, H., Ramaekers, M., & Hespel, P. (2011). Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted | Scopus/ PubMed / Web of Science | 20 hombres sanos, físicamente activos, edad (F: 23,0 ± 1,1 años; CHO: 22,1 ± 0,9 años). | 6 semanas (4 sesiones a la semana) | 2 horas de pedaleo al 65% V o 2max aproximadamente | El VO ₂ y la VCO ₂ se midieron durante un intervalo de 5 minutos después de 10 minutos, a la mitad y al final del ejercicio | CHO: alimentados con CHO y F: ayunas; El entrenamiento ha aumentado de manera similar V o 2max (+ 9%) y el rendimiento en una prueba de tiempo simulado de 60 min (+ 8%) en ambos grupos (P <0,01). Mediciones metabólicas se hicieron durante un 2-h de carga constante sesión de ejercicio en el estado de ayuno en ~ 65% de preentrenamiento V o 2max. En F, la descomposición de los lípidos intramiocelulares inducidos por el ejercicio (IMCL) aumentó en las fibras tipo I (P <0.05) y | Se demuestra claramente que el entrenamiento físico constante en ayunas estimula notablemente la contribución de IMCL a la provisión de energía durante el ejercicio de resistencia en ayunas. El entrenamiento en ayunas también aumenta la capacidad oxidativa muscular más que una intensidad y duración de ejercicio similares con un amplio suministro de carbohidratos exógenos. Además, el | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|--|--------------------------------|---|--|--|---|---|---|--------------------------|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| state. Journal of Applied Physiology, 110(1), 236–245. https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00907.2010 | | | | | | tendió a aumentar en las fibras tipo IIa (P = 0.07). El entrenamiento no afectó el desglose de IMCL en CHO. Además, F (+ 21%) aumentó la intensidad del ejercicio correspondiente a la tasa máxima de oxidación de grasas más que CHO (+ 6%) (P<0.05). Además, la actividad máxima de citrato sintasa (+ 47%) y β -hidroxiacil coenzima A deshidrogenasa (+ 34%) se incrementó significativamente en F (P <0.05) pero no en CHO. Además, solo F evitó el desarrollo inducido por el ejercicio de la caída de la concentración de glucosa en sangre (P <0.05). | entrenamiento en ayunas evita la caída de la concentración de glucosa en sangre durante el ejercicio en ayunas. Por lo tanto, nuestros hallazgos actuales proporcionan evidencia que indica que el entrenamiento regular en ayunas es una estrategia útil para estimular adaptaciones fisiológicas en el músculo que eventualmente pueden contribuir a mejorar el rendimiento del ejercicio de resistencia. | |
| Paoli, A., Marcolin, G., Zonin, F., Neri, M., Sivieri, A., & Pacelli, Q. F. (2011). 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. International Journal of Sport | Scopus/ PubMed / Web of Sciece | 8 hombres sanos, entrenados, edad 27 ± 6 años | El protocolo experimental cubrió 2 semanas. Cada participante se sometió a dos pruebas con un intervalo de 1 semana entre: una prueba fue una prueba de ayuno (FST) y la otra prueba fue una prueba de alimentación (FED). | 36 minutos de entrenamiento en la cinta rodante al 65% de sus % HRR. | Los datos se recopilaron antes de una prueba experimental y a las 12 y 24 horas después del final de la prueba. Los parámetros fisiológicos medidos fueron la HR, el VO2 y la VCO2. | FED: alimentados antes de ejercicio. El desayuno, per se, aumentó significativamente el VO2 y el RER (4,21 frente a 3,74 y 0,96 frente a 0,84, respectivamente). Doce horas después de la sesión de entrenamiento, el VO2 fue aún más alto en la prueba FED, mientras que el RER fue significativamente menor en la prueba FED, lo que indica una mayor utilización de lípidos. La diferencia seguía siendo significativa 24 horas después del ejercicio. | Cuando se realiza un ejercicio de resistencia moderado para perder grasa corporal, el ayuno antes del ejercicio no mejora la utilización de lípidos; más bien, se recomienda la actividad física después de una comida ligera. | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|--|------------------------------------|---|--|--|---|---|---|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| Nutrition and Exercise Metabolism, 21(1), 48–54. https://doi.org/10.1123/ijsem.21.1.48 | | | | | | | | |
| Gonzalez, J. T., Veasey, R. C., Rumbold, P. L. S., & Stevenson, E. J. (2013). Breakfast and exercise contingently affect postprandial metabolism and energy balance in physically active males. <i>British Journal of Nutrition</i> , 110(4), 721–732. https://doi.org/10.1017/S0007114512005582 | Scopus/ EBSCO host/ Web of Science | 12 hombres sanos, físicamente activos, edades 23 ± 4 años | 1 sesión de entrenamiento, llevada a cabo en un día. | Corrieron en una cinta rodante al 61% VO2max durante 60 minutos. | Las muestras de gas expirado se recolectaron usando un sistema de análisis de gas en línea (Metalyzer 3B, Cortex) calibrado usando gases de concentraciones conocidas y una jeringa de 3 l. Los participantes usaron una mascarilla 120 minutos antes de la prueba, Durante los 60 minutos de la prueba y 90 minutos después de la prueba | En un entorno agudo, la ingesta energética del desayuno y el gasto energético del ejercicio no se compensan en el almuerzo. En consecuencia, el balance energético fue más positivo después del desayuno y el descanso y menos positivo después de la omisión del desayuno y el ejercicio. Cuando se realiza ejercicio, puede ser más pertinente omitir el desayuno si se desea un balance de grasa negativo, aunque los hallazgos del presente estudio no pueden predecir los resultados a largo plazo del balance de energía y grasa debido al diseño de una sola comida. y como tal, esta conclusión debe interpretarse con cautela. | Los hallazgos indican que la ingestión del desayuno puede mejorar las respuestas metabólicas y del apetito a los alimentos consumidos posteriormente cuando es sedentario. Cuando se toma el desayuno, la glucemia postprandial posterior es mayor después del ejercicio, sin embargo, se debe tener cuidado durante la interpretación de los efectos crónicos, ya que el entrenamiento físico casi siempre confiere un beneficio para la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina. El ejercicio también resultó en una reducción efímera del apetito, que es mayor cuando se realiza en ayunas. | N.D. |
| Harber, M. P., Konopka, A. R., Jemiolo, B., Trappe, S. W., Trappe, T. A., & Reidy, P. T. | Scopus | 8 hombres sanos, recreacional mente activos (media ± | 1 sesión de entrenamiento | 60 min de la ergometría en bicicleta al 70% de su VO 2 max | Se utilizó calorimetría indirecta para evaluar el gasto energético y la intensidad del | Los resultados primarios de esta investigación fueron que 1) la síntesis de proteína muscular mixta es elevada en las horas inmediatas tras una sesión de ejercicio aeróbico realiza con duración moderada (60 min) y la intensidad (72% v o 2 máx.) en el estado de ayuno; 2) | Una serie no exhaustiva de ejercicio aeróbico estimula la FSR del músculo esquelético en ayunas y que la alimentación no mejora de forma apreciable la FSR entre 2 y 6 h después del ejercicio aeróbico. | La alimentación después del ejercicio no estimuló más la FSR de proteínas, lo que puede |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|---|----------------|--|---|--|--|---|--|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| (2010). Muscle protein synthesis and gene expression during recovery from aerobic exercise in the fasted and fed states. American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology, 299(5), 1254–1262. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00348.2010 | | EE; 25 ± 1 año) | | predeterminado. | ejercicio cada 15 minutos durante el período de ejercicio. | la ingestión de carbohidratos más proteínas (es decir, alimentación) después del ejercicio no estimuló de forma mensurable la FSR de músculos mixtos por encima de los valores en ayunas entre 2 y 6 h después del ejercicio; 3) la alimentación después del ejercicio atenuó la expresión de ARNm del músculo esquelético de los marcadores proteolíticos MuRF-1 y calpaína-2; y 4) la alimentación después del ejercicio redujo la expresión de ARNm del músculo esquelético del marcador miogénico MRF4. | Además, la ingesta de nutrientes después del ejercicio atenúa la expresión de factores implicados en las vías de degradación de proteínas dependientes de la ubiquitina-proteosoma y Ca ²⁺ . Estos datos proporcionan información sobre el papel de la alimentación | deberse al momento de la medición de la FSR posterior al ejercicio o porque el efecto de la alimentación fue mínimo y / o transitorio y, por lo tanto, no se detectó. |
| Bachman, J. L., Deitrick, R. W., & Hillman, A. R. (2016). Exercising in the Fasted State Reduced 24-Hour Energy Intake in Active Male Adults. Journal of Nutrition and Metabolism, 1–7. | Web of Science | 12 varones sanos, blancos, activos, edad 20,8 ± 3 años | 1 sesión de entrenamiento, llevada a cabo en un día | Una carrera en cinta rodante de 1 hora a una velocidad que se aproximaba al 60% VO2 max. | Se registró el volumen de VO 2 y el VCO 2 durante períodos de 5 minutos de 0 a 5 , 15–20, 35–40 y 55–60 minutos. | Recibieron desayuno (BK) o ningún desayuno (NoBK): Total de 24 horas (BK: 19172 ± 4542 kJ versus NoBK: 15312 ± 4513 kJ; p <0,001) y noche (BK: 12265 ± 4278 kJ versus NoBK: 10833 ± 4065; p= 0.039) la ingesta energética y el RQ (BK: 0.90 ± 0.03 versus NoBK: 0.86 ± 0.03; p <0.001) fueron significativamente mayores en BK que en NoBK. La glucosa en sangre fue significativamente más alta en BK que en NoBK antes del ejercicio (5.2 ± 0.7 versus 4.5 ± 0.6 mmol / L; p = 0.025). El hambre fue significativamente menor para BK que NoBK antes del ejercicio, después del ejercicio y antes del almuerzo. La glucosa en | El ayuno antes del ejercicio matutino disminuyó la ingesta energética de 24 horas y aumentó la oxidación de grasas durante el ejercicio. Hacer ejercicio por la mañana en ayunas puede tener implicaciones para el control del peso. | La pequeña muestra de machos activos que reduce la generalización de nuestros resultados a otras poblaciones, así como la aplicación más allá de los efectos sobre la ingesta energética durante un día. Una limitación |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|---|---------------|--|---|---|--|--|---|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| https://doi.org/10.1155/2016/1984198 | | | | | | sangre y el hambre no se asociaron con la ingesta de energía. | | adicional de nuestro estudio es que la oxidación del sustrato y la utilización de combustible solo se midieron durante el ejercicio y la glucosa en sangre solo se midió mientras los participantes estaban en el laboratorio y, por lo tanto, no sabemos el papel que estos factores pueden haber tenido en la ingesta de energía fuera de estos momentos. |
| Broad, A. A., Howe, G. J., McKie, G. L., Vanderheyden, L. W., & Hazell, T. J. (2020). The effects of a pre-exercise meal on postexercise metabolism following a | Scopus | 10 hombres sanos, recreativamente activos, edad (18 a 24 años) | 1 sesión de entrenamiento | Calentamiento de 5 minutos a un ritmo auto-seleccionado seguido de una sesión SIT de 16 minutos y 4 minutos de enfriamiento. La sesión de | El intercambio de gases se midió antes de iniciar la prueba en reposo, durante el ejercicio, así como los 30 minutos posteriores al ejercicio. | Una sesión en la que el ejercicio se realizó en estado de ayuno (FAST), y una sesión en la que se realizó el ejercicio en el estado postprandial (FED). No hubo diferencia en el gasto energético entre condiciones en ningún momento ($p > 0,329$) o en el gasto energético total de la sesión (FED: $514,8 \pm 54,9$ kcal, FAST: $504,0 \pm 74,3$ kcal; $p = 0,982$). La oxidación de grasas a las 3 h después del ejercicio fue mayor en FED (0.110 ± 0.04 g · min ⁻¹) versus FAST (0.069 ± 0.02 g · min ⁻¹ ; $p = 0.013$) aunque no fue diferente entre las | Estos resultados demuestran que el estado de ayuno o alimentación no aumenta el metabolismo post-ejercicio después de la SIT aguda de una manera que favorecería la pérdida de grasa después del entrenamiento. | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|---|----------------|---|---|--|---|--|---|--------------------------|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| session of sprint interval training. Accepted manuscript. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 1–38. Recuperado de https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/99890 | | | | SIT consistió en sprints máximos de 8 x 15 segundos intercalados con 2 min de recuperación | | condiciones a lo largo del tiempo ($p > 0.340$) o en la oxidación total de grasas post-ejercicio (FED: $0,125 \pm 0,04 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$, FAST: $0,105 \pm 0,02 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$; $p = 0,154$). Las percepciones del apetito fueron menores en FED ($-4815.0 \pm 4098.7 \text{ mm}$) versus FAST ($-707.5 \pm 2010.4 \text{ mm}$, $p = 0.022$); sin embargo, la ingesta de energía no difirió entre las condiciones ($p = 0,429$). | | |
| De Bock, K., Richter, E. A., Russell, A. P., Eijnde, B. O., Derave, W., Ramaekers, M., ... Hespel, P. (2005b). Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. The Journal of Physiology, 564(2), 649– | Google Scholar | 9 hombres sanos, físicamente activos, edad ($22,8 \pm 0,4$ años) | 1 sesión de entrenamiento | Pedalearon durante 2 h con la carga de trabajo que se determinó durante las sesiones de familiarización ($178 \pm 8 \text{ W}$). | Antes, a la mitad y al final de la sesión de ejercicio, se midió VO_2 y VCO_2 utilizando un sistema de ergoespirometría respiración por respiración | El ejercicio se realizó en estado de ayuno (F), y una sesión en la que se realizó el ejercicio en el estado postprandial (CHO). Durante F pero no durante CHO, la serie de ejercicio disminuyó el contenido de IMTG en las fibras de tipo I de $18 \pm 2\%$ a $6 \pm 2\%$ ($P = 0,007$) de tinción de lípidos en el área. Por el contrario, durante la recuperación, la IMTG en las fibras de tipo I disminuyó de $15 \pm 2\%$ a $10 \pm 2\%$ en CHO, pero no cambió en F. Ni el ejercicio ni la recuperación cambiaron la IMTG en las fibras de tipo IIa en ninguna condición experimental. La degradación neta de glucógeno inducida por el ejercicio fue similar en F y CHO. Sin embargo, en comparación con CHO ($11,0 \pm 7,8 \text{ mmol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), la tasa media de resíntesis de glucógeno muscular después del ejercicio fue 3 veces mayor en F ($32,9 \pm 2,7 \text{ mmol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $P = 0,01$). Además, la carga de glucosa oral durante la recuperación aumentó la insulina plasmática notablemente | La degradación de IMTG durante el ejercicio submáximo prolongado en ayunas tiene lugar predominantemente en fibras de tipo I. Además, mostramos por primera vez que la degradación de IMTG durante el ejercicio se evita por completo en el estado de alimentación con CHO. Además, el ejercicio en ayunas mejora la respuesta de la insulina después del ejercicio a la ingestión de glucosa, que a su vez probablemente contribuya a la estimulación de la re-síntesis de glucógeno muscular después del ejercicio. Finalmente, la ingestión de carbohidratos, ya sea antes, durante o después del ejercicio, es un potente inhibidor de la expresión del gen UCP3 en el músculo esquelético. | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|---|--|--|---|---|---|---|--|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| 660. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.083170 | | | | | | más en F (+46.80 $\mu\text{U ml}^{-1}$) que en CHO (+14.63 $\mu\text{U ml}^{-1}$, P = 0.02). | | |
| Salar, N. V., Otegui, A. U., & Collado, E. R. (2015). Endurance training in fasting conditions: biological adaptations and body weight management. <i>Nutricion Hospitalaria</i> , 32(6), 2409–2420. https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.6.9488 | Scopus/ PubMed /EBSCO host/ Web of Science | Sujetos sanos, activos, sedentarios y entrenados | N.D. | N.D. | N.D. | Los protocolos publicados difieren tanto en el periodo de trabajo como en la intensidad del ejercicio, así como respecto al análisis de una gran variedad de marcadores, desde la expresión de genes hasta parámetros circulantes. | A bajas intensidades de ejercicio aeróbico, los niveles de lipólisis y oxidación de grasas son mayores en el ejercicio en ayunas. Por otro lado, el metabolismo de la glucosa en condiciones de ayuno se adapta en relación al ahorro de las reservas de glucógeno. Finalmente, en condiciones de ayuno, la degradación de proteínas musculares se ve disminuida. | N.D. |
| Goedecke, Julia H., Gibson, A. S. C., Grobler, L., Collins, M., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (2000). Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and | Scopus/ PubMed | 61 ciclistas sanos, entrenados en resistencia, 45 hombres y 16 mujeres ciclistas, edad 31 ± 7 años | 1 sesión de entrenamiento, llevada a cabo en un día | Pedalear al 25, 50 y 70% del (W pico), respectivamente, en el que se mantuvo una frecuencia de pedaleo de 90 revoluciones por minuto (rpm). Estas | Las mediciones del intercambio de gases (absorción de oxígeno (VO ₂), VCO ₂ y RER) se registraron durante 5 minutos en reposo y en cada carga de trabajo de ejercicio, después de un "periodo de | Los principales determinantes del RER en reposo incluyeron el contenido de glucógeno muscular, el volumen de entrenamiento, la proporción de fibras de tipo 1, [FFA] y [lactato] y el% de ingesta de grasas en la dieta (r^2 ajustado= 0,59, P <0,001). Excepto por la composición de la fibra muscular, estas variables también predijeron el RER en un pico de 25, 50 y 70% W en diferentes grados. El determinante clave al 25% W pico fue el [sustrato] transmitido por la sangre, al 50% fue el [sustrato] muscular y las actividades | Los principales determinantes de esta variabilidad y / o su contribución relativa a la utilización del sustrato difirieron en reposo y durante el ejercicio de diferentes intensidades. Sin embargo, el entrenamiento, la ingesta dietética y el consiguiente contenido de glucógeno muscular y los sustratos circulantes predijeron constantemente el RER en reposo y durante el ejercicio en este estudio. | Encontraron una gran variabilidad en la utilización del sustrato en un grupo de ciclistas entrenados que tienen una capacidad de rendimiento superior al promedio. Sin embargo, no se |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|--|------------------------|--|---|---|--|--|---|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| during exercise in trained athletes. American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism, 279(6), 1325–1334. https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.279.6.e1325 | | | | cargas de trabajo correspondían a 41, 63, y 80% VO2 max , respectivamente. | estabilización" de 10 minutos. | enzimáticas glucolíticas, y al 70% fue [lactato]. Resting RER era también un determinante significativo de RER a 25 (r = 0,60) y 50% (r = 0,44) W pico . | Estos hallazgos sugieren que, al manipular el entrenamiento y / o la ingesta dietética, se puede modificar la capacidad de un atleta para alterar la utilización del sustrato durante el ejercicio de estado estable. Además, el RER en reposo fue un determinante independiente significativo del RER a intensidades bajas y moderadas. Este hallazgo puede tener implicaciones importantes para la investigación metabólica, tanto como herramienta para estimar la utilización relativa del sustrato como para interpretar los resultados de estudios que examinan la utilización relativa del sustrato en respuesta a diversos estímulos; sin embargo, se justifican más investigaciones. | sabe si esta variabilidad en el RER, medida durante el ejercicio de estado estable a corto plazo, persistirá durante el ejercicio más prolongado, en el estado de alimentación, en condiciones de baja disponibilidad de glucógeno o cuando se ingiera CHO durante el ejercicio, por ejemplo. |
| Hall, U. A., Edin, F., Pedersen, A., & Madsen, K. (2016). Whole-body fat oxidation increases more by prior exercise than overnight fasting in elite endurance athletes. Applied Physiology, Nutrition and | Scopus/ Web of Science | 13 ciclistas y triatletas de élites sanos (cuatro mujeres y nueve hombres, edad 32 ± 2 años) | 1 sesión de entrenamiento | Prueba de oxidación de grasas incremental consistía en un calentamiento de 5 min al 25% V' O2max, seguido de aumentos de carga cada 3 min correspondien | El metabolismo en reposo se determinó midiendo el VO2 y VCO2 inmediatamente antes de la prueba. El VO2 y el VCO2 se registraron continuamente durante la prueba experimental, las tasas de oxidación se calcularon a | Durante la prueba de aquellos que ingirieron desayuno antes del ejercicio (CON), la tasa máxima de oxidación de grasas fue de 0,51 ± 0,04 g. min-1 en comparación con 0,69 ± 0,04 g. min-1 en aquellos que ayunaron antes del ejercicio (FAST) (P. También comparando en todas las intensidades, en aquellos que hicieron ejercicio previo a la prueba experimental (EXER) fue significativamente más alto que FAST y FAST fue más alto que CON (P. Los niveles de insulina en sangre fueron más bajos y los niveles de ácido graso libre y cortisol fueron más altos al inicio de EXER en comparación con CON y FAST. | El ejercicio previo aumenta significativamente la oxidación de grasa de todo el cuerpo a intensidades de ejercicio submáximas en comparación con el ayuno nocturno. Las altas tasas de oxidación máxima de grasa en los atletas de resistencia de élite se incrementaron en aproximadamente un 75% después del ejercicio previo y la recuperación en ayunas. | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|--|----------------|--|---|--|---|--|---|--------------------------|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| Metabolism, 41(4), 430–437. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0452 | | | | tes a 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% V _{O2} max calculado a partir de la prueba previa | partir de la absorción de oxígeno medida y la producción de dióxido de carbono en los últimos 60 s de cada intensidad de ejercicio utilizando las ecuaciones de Frayn (Frayn 1983). | | | |
| Shimada, K., Yamamoto, Y., Iwayama, K., Nakamura, K., Yamaguchi, S., Hibi, M., ... Tokuyama, K. (2013). Effects of post-absorptive and postprandial exercise on 24 h fat oxidation. <i>Metabolism: Clinical and Experimental</i> , 62(6), 793–800. | Web of Science | 12 jóvenes sanos, atletas, masculinos de resistencia, edad 22,8 ± 0,6 años | 1 sesión de entrenamiento, llevada a cabo en un día | Durante 60 min utilizando un ergómetro de bicicleta con una carga de trabajo al 50% del VO ₂ máx. | Los sujetos ingresaron a la cámara el día antes de la sesión de ejercicio y se calculó el gasto energético de veinticuatro horas y la oxidación de nutrientes desde las 06:00 h del día 2 hasta las 06:00 h del día 3. Las concentraciones de O ₂ y CO ₂ en el aire de salida se midieron mediante un espectrómetro de masas de proceso en línea. Cada 5 min, se calcularon | Durante los 60 min de ejercicio, el gasto de energía en las dos pruebas de ejercicio fue equivalente, pero el ejercicio en el estado posabsorción se realizó con un RQ más bajo en comparación con el del estado posprandial (P < 0.01). El tiempo de ejercicio en relación con el desayuno no afectó el gasto energético de 24 h (P > 0,5). Sin embargo, la oxidación de grasas acumuladas en 24 h fue mayor (P < 0.05) y la oxidación de carbohidratos fue menor (P < 0.05) cuando el ejercicio se realizó en el estado post-absorptivo. | Una serie de ejercicio agudo en el estado post-absorptivo por la mañana aumentó la oxidación de grasas en 24 h, en relación con la realizada en el estado postprandial. Se necesitan más estudios para identificar la secuencia de eventos que conducen a la reducción de la grasa corporal, si el ejercicio realizado en estado post-absorptivo es beneficioso para reducir la grasa corporal. | N.D. |

| Estudio | Base de datos | Metodología | | | | Resultado resumen del estudio | Conclusiones del estudio | Limitaciones del estudio |
|--|----------------|--|---|--|--|---|--|---|
| | | Tamaño/ Tipo de muestra | Numero de sesiones que realizaron en ayunas | Prueba experimental | Tiempo en el que se evaluó la respuesta metabólica | | | |
| | | | | | las tasas de consumo de O ₂ (VO ₂) y producción de CO ₂ (VCO ₂) utilizando un algoritmo para mejorar la respuesta transitoria. | | | |
| Aslankeser, Z., & Balci, Ş. S. (2017). Re-examination of the contribution of substrates to energy expenditure during high-intensity intermittent exercise in endurance athletes. PeerJ, (9), 1–16. https://doi.org/10.7717/peerj.3769 | Web of Science | 18 hombres sanos, 10 ciclistas bien entrenados, edad (19,60 ± 0,54 años) y 8 estudiantes de educación física que no habían experimentado ningún entrenamiento de resistencia antes, edad (20,25 ± 0,41 años) | 1 sesión de entrenamiento | Los sujetos pedalaron en seis períodos de trabajo que duraron 4 minutos (a 80% del VO ₂ máx.) y separados por períodos de descanso de 2 minutos. Durante los períodos de descanso, los sujetos descansaron sentados en el cicloergómetro. | El VO ₂ , VCO ₂ y HR se registraron durante el ejercicio y los períodos de enfriamiento. | La tasa de oxidación de grasas durante cada entrenamiento fue significativamente diferente entre los grupos de atletas y no entrenados (p < 0.05), y la tasa de oxidación de carbohidratos (CHO) durante el experimento fue similar entre los grupos (p > 0.05). Además, la concentración de lactato aumentó significativamente en el grupo no entrenado (p < 0.05), mientras que no cambió significativamente en el grupo de atletas durante los entrenamientos (p > 0.05). La contribución de la grasa al gasto energético fue significativamente mayor en el grupo de atletas (~ 25%) que en el grupo no entrenado (~ 2%). | El presente estudio indica que se midió 17 veces más oxidación de grasas en el grupo de atletas en comparación con el grupo sin entrenamiento. Sin embargo, los atletas tuvieron la misma tasa de oxidación de CHO que los sujetos con actividad recreativa durante el ejercicio intermitente de alta intensidad. Una mayor tasa de oxidación de grasas a pesar de la misma tasa de oxidación de CHO puede estar relacionada con un mayor rendimiento en el grupo entrenado. | En este estudio, la última comida se consumió 12 h antes del ejercicio de intervalo. Se indicó a los participantes que prepararan comidas compuestas por 60% de carbohidratos, 20% de grasas y 10% de proteínas; sin embargo, los participantes no fueron monitoreados. |

Fuente: Autor.

