



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

**EFFECTOS DE LA CAFEÍNA EN EL RENDIMIENTO
DEPORTIVO Y SUS DIFERENCIAS
INTERINDIVIDUALES**

Daniel García Ruso

Tutor académico: Enrique Roche Collado

Curso 2020-2021

ÍNDICE

CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
PROCEDIMIENTO	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
DISCUSIÓN	8
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	12
BIBLIOGRAFÍA	14



CONTEXTUALIZACIÓN

Definición de ayudas ergogénicas

Se entiende por ayuda ergogénica cualquier técnica de entrenamiento, estrategia nutricional, métodos farmacológicos o técnicas psicológicas que puedan mejorar la capacidad de ejercicio o las adaptaciones al entrenamiento. Además, también pueden mejorar la recuperación o ayudar en la prevención de lesiones (Leutholtz et al, 2001; Kreider et al, 2009).

Para poder afirmar que un suplemento nutricional es ergogénico, se debe demostrar en los estudios revisados por pares que dicho suplemento mejora significativamente el rendimiento y/o la recuperación a largo plazo (tras semanas o meses de ingestión). Aunque un suplemento también puede tener valor ergogénico si mejora de manera aguda la capacidad de un atleta para realizar una tarea o mejorar la recuperación de una sola sesión. El ISSN (Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva) opina que esta evidencia no garantiza una "excelente certeza para respaldar la eficacia" si no existe eficacia a largo plazo (Kerksick et al, 2018).

Además, para que un suplemento sea claramente ergogénico, la mayoría de los estudios en humanos deben respaldar que sea eficaz básicamente en 2 aspectos: promover mayores aumentos en la hipertrofia muscular o mejorar el rendimiento. Por el contrario, los suplementos que no cumplen con estos requisitos y sólo están respaldados por datos preclínicos, se agruparían en otras categorías (Kerksick et al, 2018).

Por tanto, una ayuda ergogénica debe mejorar o conseguir algunos de los efectos mencionados anteriormente, como la mejora del rendimiento, de la recuperación o de la prevención de lesiones, manteniéndose dicho efecto en el tiempo a largo plazo y estando respaldados por estudios científicos en humanos.

Clasificación y categorización de las ayudas ergogénicas

Como se ha comentado anteriormente, revisar la literatura científica es importante para determinar la eficacia de cualquier dieta o suplemento dietético. Teniendo esto en cuenta, los suplementos nutricionales se pueden clasificar de la siguiente manera:

I. Evidencia sólida para respaldar la eficacia y aparentemente seguros: en esta categoría se engloban los suplementos que tienen un fundamento teórico sólido tanto de eficacia como de seguridad, con la mayoría de las investigaciones realizadas en poblaciones relevantes y con dosificaciones apropiadas (Kerksick et al, 2018).

II. Evidencia limitada o mixta para respaldar la eficacia: dentro de esta categoría se encuentran los suplementos que presentan un fundamento científico sólido para su uso, pero no existen suficientes evidencias científicas que respalden su eficacia. Estos suplementos no deben tener evidencia de ser dañinos o poco seguros (Kerksick et al, 2018).

III. Poca o ninguna evidencia que respalde la eficacia y/o seguridad: en esta categoría se encuentran los suplementos que carecen de eficacia y una base científica sólida que los respalde, así como los suplementos que pueden ser perjudiciales para la salud o que no sean seguros (Kerksick et al, 2018).

Antes de aconsejar sobre el consumo de suplementos dietéticos a las personas que realizan ejercicio físico, se deben tener en cuenta ciertos factores, como la carga de entrenamiento y recuperación, la evaluación de la dieta que acompaña en cuanto a nutrientes y energía, y los objetivos que se desean alcanzar. Una vez evaluados estos factores y siendo correctos, es cuando se recomienda el uso de suplementos de la categoría I (evidencia sólida para respaldar la eficacia y aparentemente seguro) (Kerksick et al, 2018).

Cafeína

La cafeína es un alcaloide de la clase de las metilxantinas. Es el estimulante psicoactivo del sistema nervioso central (SNC) más consumido a nivel mundial.

En cuanto a la categorización de esta sustancia, se encuentra en la categoría I: “Evidencia sólida para respaldar la eficacia y aparentemente seguros” (Kerksick et al, 2018).

Está presente en cantidades significativas en el café (40 mg/100g), en el té (11 mg/100g) y en algunos alimentos como el chocolate (20 mg/100 g). Los refrescos también contienen cafeína en cantidades similares al té, y las bebidas energéticas también contienen altas cantidades de cafeína (36 mg/100g). Además, se pueden obtener cápsulas (i.e. Durbitan), generalmente de 100 o 200 mg/cápsula, sin receta (Evans et al, 2020).

En cantidades normales la cafeína no presenta problemas ni a corto ni a largo plazo. Sin embargo, en dosis de aproximadamente 1.2 g al día, la cafeína puede ser tóxica. En un grado leve de toxicidad pueden aparecer síntomas como nerviosismo, irritabilidad, insomnio, dolores de cabeza, temblores y malestar gastrointestinal. La toxicidad grave puede causar ansiedad excesiva, alucinaciones, desorientación, isquemia, paro cardiorrespiratorio e incluso la muerte (Evans et al, 2020).

Los efectos de la cafeína se dan principalmente al bloquear los receptores de adenosina (A1, A2A, A3 y A2B) y crear efectos antagónicos. Estos cuatro receptores adrenérgicos presentan una estructura común, y se encuentran en la membrana plasmática de las células del sistema nervioso, cardiovascular, respiratorio, gastrointestinal, urogenital e inmunológico, así como en huesos, articulaciones, ojos y piel. También en células inflamatorias como mastocitos, eosinófilos, neutrófilos, monocitos y macrófagos entre otras (Borea et al, 2018).

Las funciones de estos receptores al unir la adenosina, se centran en la liberación de neurotransmisores aumentando la excitación neuronal y reduciendo el control del sueño. Por ello se anulan los efectos sedantes y aumentan los ansiolíticos, repercutiendo en la activación del aparato locomotor. En particular, la activación del receptor de adenosina A1 reduce la transmisión neuronal inhibiendo los canales de calcio, y provoca la hiperpolarización neuronal mediante la regulación de la corriente de potasio (Borea et al, 2018). En este contexto, la cafeína actuaría como antagonista de estos receptores, llevando a cabo los efectos contrarios, eliminando los efectos adenosinérgicos. Además de este antagonismo, la cafeína también promovería la liberación de calcio de las reservas intracelulares, afectando a funciones cerebrales como el sueño y la cognición, entre otras (Ribeiro et al, 2010).

Por estos efectos mencionados anteriormente, la cafeína se suele utilizar como suplemento dietético, normalmente con el objetivo de controlar el peso, disminuir la somnolencia o combatir la fatiga entre otros (Evans et al, 2020). Los efectos de la cafeína sobre el SNC y el sistema cardiovascular parecen ser evidentes, por lo que este TFG se centrará en los efectos específicos que puede producir la utilización de la cafeína como suplemento en la práctica deportiva, en aspectos como la fuerza o potencia, la resistencia y la velocidad. Además, se analizarán las diferentes formas de ingestión, los tiempos y las estrategias de dosificación. Finalmente, se revisarán las diferencias interindividuales existentes, mencionando los factores genéticos que las explican.

Objetivos:

- Conocer los efectos de la cafeína en el rendimiento deportivo: fuerza, potencia, resistencia y velocidad.
- Indicar las cantidades y formatos de ingestión, los tiempos y las estrategias de dosificación.
- Identificar los mecanismos que explican las diferencias interindividuales.

PROCEDIMIENTO

La realización y los informes de la revisión del presente TFG siguen en parte las directrices de la guía PRISMA.

La búsqueda bibliográfica tuvo lugar entre los meses de febrero y abril de 2021 en las bases de datos Pubmed y Scielo.

Para la búsqueda bibliográfica en la base de datos Pubmed, se llevó a cabo una primera búsqueda con las palabras clave “caffeine and sport performance” y una segunda búsqueda con las palabras clave “caffeine and performance”.

En la base de datos Scielo, se realizó una única búsqueda con las palabras clave “caffeine and sport performance”.

Los filtros de búsqueda utilizados en ambas bases de datos fueron: (a) Artículos publicados desde 2016 hasta la actualidad. (b) Revisiones sistemáticas. (c) Artículos disponibles a texto completo.

Criterios de selección

Los artículos encontrados tras las búsquedas bibliográficas en las distintas bases de datos debían cumplir los criterios de selección que se muestran a continuación:

- Artículos que estudien la cafeína.
- Artículos relacionados con el rendimiento deportivo.
- Artículos en población adulta
- Artículos sobre dosis, tiempos y formas de ingestión.
- Artículos sobre diferencias interindividuales.
- Artículos que no combinen la cafeína con otras sustancias.
- Artículos que no se centren en deportes específicos.
- Artículos que no se centren en bebidas energéticas.

Resultados de la búsqueda

Tras realizar la búsqueda en las diferentes bases de datos utilizando los filtros mencionados anteriormente, se encontraron 126 estudios. De los artículos encontrados, 16 cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron incluidos en la revisión del presente TFG (Figura 1).

Se encontraron 123 artículos en la base de datos Pubmed y 3 se encontraron en la base de datos Scielo.

Se realizó el diagrama de flujo conforme a las recomendaciones de PRISMA para ilustrar la exclusión paso a paso, lo que llevó a la selección final de 16 artículos que cumplieron los criterios de inclusión.

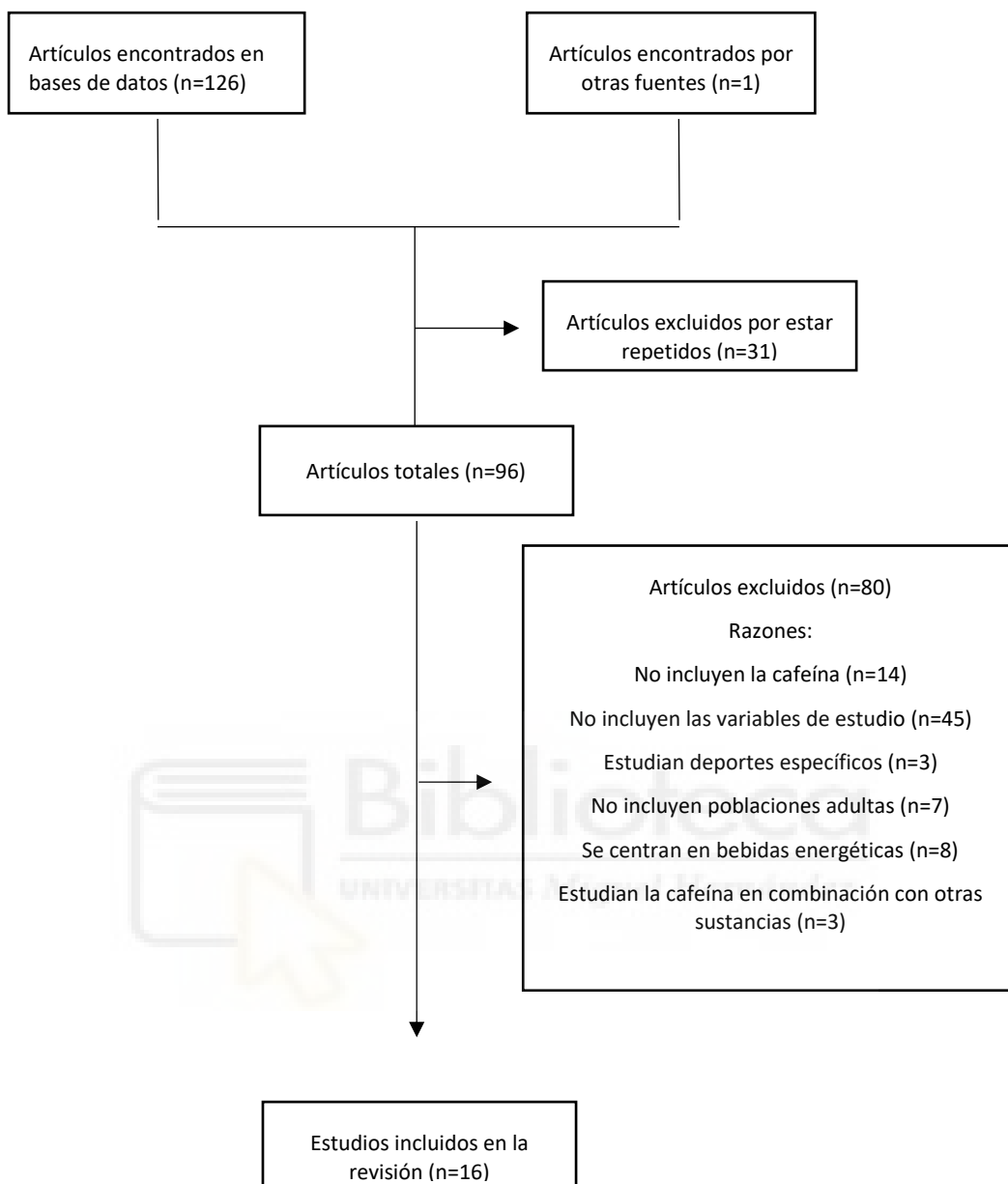


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

ESTUDIO	RESULTADOS
Ayudas ergogénicas en el deporte (Santesteban et al, 2017)	La cafeína en dosis de 2 mg/kg mejora la capacidad de reacción, y en dosis de 3-6 mg/kg administrada 1 hora antes del ejercicio o dosis de 0,75-2 mg/kg durante el ejercicio cada 20 minutos, mejora el rendimiento en pruebas de resistencia aeróbica. Dosis mayores a 6 mg/kg aumentan la probabilidad de sufrir efectos adversos.
Caffeine and bicarbonate for speed legal supplements potential for improving (Christensen et al, 2018)	La cafeína aumenta la velocidad media en las pruebas de resistencia intensas anaeróbicas que duran de 45s-8min. Las dosis de cafeína varían de 2 a 6 mg/kg.
Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis (Grgic et al, 2018)	La ingestión de cafeína mejora tanto la fuerza como la potencia. Mejora significativamente la fuerza del tren superior pero no del tren inferior. La cafeína se ingirió en dosis de 2-6mg/kg, 60min antes de las pruebas.
Evidence-based supplements for the enhancement of athletic performance (Peeling et al, 2018)	Resistencia: beneficio de rendimiento promedio de ~3,2% (\pm 4,3%) cuando se administra antes y/o durante las actividades de duración variable (5–150 min) con dosis de 3 a 6 mg/kg, 60 min antes del ejercicio. Tareas de sprint cortos, supramáximos y repetidos: ~65% de los estudios de ingesta de cafeína y esfuerzos de alta intensidad de \leq 5 min de duración informaron de beneficios de rendimiento, con una mejora media de la tarea de ~6,5%
ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations (Kerksick et al, 2018)	La cafeína mejoró la velocidad, la potencia máxima y la potencia media en los ciclistas. Mejoras en ciclistas en el rendimiento de pruebas contrarreloj. Mejora el rendimiento en sprints repetidos. Hallazgos no concluyentes de impacto en la fuerza y el rendimiento muscular.
Sports foods and dietary supplements for optimal function and performance enhancement in track-and-field athletes (Peeling et al, 2019)	En tareas supramáximas a corto plazo, la ingestión de 3 a 6 mg/kg de cafeína tomada 50-60 min antes del ejercicio se relaciona con ganancias de rendimiento >3% para actividades anaeróbicas de 1 a 2 min de duración. Se demuestra un efecto para los atletas de alto rendimiento en los sprints más largos, la distancia media y los eventos de resistencia/ultra resistencia.

Supplements and nutritional interventions to augment high-intensity interval training physiological and performance adaptations— A narrative review (Forbes et al, 2020)	El consumo de cafeína (3-5 mg/kg de peso corporal) antes del entrenamiento de intervalos de sprint mejora el rendimiento en el primer intervalo, y no mejora en los sprints posteriores, pero se mantiene. La ingesta crónica de cafeína (5 mg/kg) antes del entrenamiento de intervalos de velocidad reduce significativamente la aparición de marcadores de daño muscular.
Contemporary nutrition strategies to optimize performance in distance runners and race walkers (Burke et al, 2019)	La eficacia en los deportes de resistencia puede estar relacionada con su papel en el enmascaramiento de la fatiga. En escenarios de mayor fatiga, la cafeína puede proporcionar un mayor beneficio para ayudar a atenuar la reducción de capacidad de entrenamiento.
International Society of Sports Nutrition Position Stand: nutritional considerations for single-stage ultra-marathon training and racing (Tiller et al, 2019)	Se deben tomar dosis frecuentes durante el ultramaratón en cantidades más bajas (por ejemplo, 1-2 mg/kg). Son más apropiadas y seguras durante varias horas. Es eficaz cuando se toma en las últimas etapas de la maratón.
Caffeine and Exercise: What Next? (Pickering et al, 2019)	Si los efectos agudos en resistencia continúan durante un periodo de tiempo, el efecto acumulativo podría afectar a las adaptaciones características del entrenamiento. Al retrasar la fatiga, las personas pueden entrenar durante más tiempo con mayor calidad, lo que posteriormente puede mejorar las adaptaciones de entrenamiento a largo plazo. Estas ideas siguen siendo especulativas.
International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance (Guest et al, 2021)	Mejora de forma aguda en muchos estudios, pero no en todos, varios aspectos del rendimiento físico como la resistencia muscular, velocidad de movimiento y fuerza muscular, carreras de velocidad, salto y lanzamiento. La resistencia aeróbica parece ser la forma de ejercicio con los beneficios más consistentes, aunque la magnitud de sus efectos difiere entre individuos.

Tabla 1. Principales evidencias científicas en la utilización de la cafeína como suplemento deportivo.

ESTUDIO	RESULTADOS
Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition (Naderi et al, 2016)	La ingesta de cafeína de ~ 3-6 mg/kg de peso corporal, ingerida 30-60 minutos antes del ejercicio, mejora el rendimiento. Las dosis altas de cafeína no otorgan mayores beneficios y están asociadas con efectos secundarios.
Timing of ergogenic aids and micronutrients on muscle and exercise performance (Stecker et al, 2019)	Momento de ingestión: 2 h - 0 h antes del ejercicio. Dosis: 3-6 mg / kg de masa corporal. La ingesta intra-ejercicio durante el ejercicio prolongado puede ser tan eficaz como el consumo antes del ejercicio.
Administration of Caffeine in Alternate Forms (Wickham et al, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Barras y geles: 100 mg mejoran el tiempo hasta el agotamiento y el rendimiento en las pruebas contrarreloj - Chicles: La absorción es más rápida (15-25min). Mejoras en eventos de resistencia, velocidad y potencia. - Enjuagues bucales: Se mejora la velocidad y potencia en sprints al enjuagarse la boca durante 5s. - Aerosoles nasales y bucales: Poco apoyo para cualquier efecto ergogénico (efectividad demasiado pequeña).
The Role of Genetics in Moderating the Inter-Individual Differences in the Ergogenicity of Caffeine (Southward et al, 2018)	Las personas con el genotipo ADORA2A T/T pueden ser más sensibles a los efectos de la cafeína, y la ansiedad inducida puede percibirse como un aumento de la excitación que conduce a posibles efectos ergogénicos. Los resultados de las investigaciones sobre los efectos de los genotipos CYP1A2 sobre la ergogenicidad de la cafeína siguen siendo ambiguos.
Sport nutrigenomics: personalized nutrition for athletic performance (Guest et al, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> -CYP1A2: Los metabolizadores rápidos (AA) pueden metabolizar rápidamente la cafeína y lograr los beneficios de los metabolitos, los metabolizadores lentos (AC/CC) mantendrán más tiempo los efectos del bloqueo de adenosina -ADORA2A: Parece que los individuos con el genotipo TT pueden tener mejores resultados de rendimiento, tiempos de respuesta más rápidos y menos alteraciones del sueño que los individuos con los genotipos (CT/CC)
International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance (Guest et al, 2021)	Mejora el rendimiento en dosis de 3 a 6 mg/kg de masa corporal. Las dosis mínimas pueden ser tan bajas como 2 mg/kg. Las dosis muy altas (9 mg/kg) se asocian con efectos secundarios y no parecen ser efectivas. El momento más utilizado para la ingestión es 60 minutos antes del ejercicio. El momento dependa de la fuente. Las diferencias interindividuales en el rendimiento, así como los efectos sobre el sueño o la ansiedad pueden atribuirse a una variación genética asociada con el metabolismo de la cafeína.

Tabla 2. Principales evidencias científicas en la administración de la cafeína y sus diferencias interindividuales.

DISCUSIÓN

Rendimiento

RESISTENCIA AERÓBICA

La suplementación con cafeína ha demostrado mejorar la capacidad de resistencia en condiciones de fatiga durante el ejercicio (Peeling et al, 2018). Esto se ha observado especialmente en entrenamientos con bajas reservas de carbohidratos endógenas, donde la cafeína puede proporcionar un mayor beneficio debido a una menor percepción de la fatiga para ayudar a no reducir la capacidad de entrenamiento (Burke et al, 2019).

Los efectos de la cafeína han sido estudiados tanto en actividades como la carrera en cinta hasta el agotamiento, como durante situaciones reales competitivas o actividades contrarreloj (Peeling et al, 2018). En estas pruebas contrarreloj de duración variable (5 a 150 min), la suplementación con cafeína puede lograr un beneficio de rendimiento medio de aproximadamente un 3,2% cuando se administra antes y/o durante la realización de las mismas actividades. Los estudios se realizaron en diferentes modalidades deportivas como ciclismo, carrera, remo, esquí de fondo y natación (Peeling et al, 2018).

Los estudios que informan sobre beneficios en el rendimiento generalmente utilizan dosis de cafeína de 3 a 6 mg/kg de masa corporal (Peeling et al, 2018; Burke et al, 2019; Peeling et al, 2019; Guest et al, 2021), consumida aproximadamente 60 minutos antes (Peeling et al, 2018; Peeling et al, 2019), o durante el ejercicio (Burke et al, 2019). En algunos estudios varía ligeramente tanto la dosis como el tiempo de ingesta siguiendo criterios de 3-9 mg/kg tomados 30-90 min antes del ejercicio (Kerksick et al, 2018). Sin embargo, dosis más bajas de cafeína (<3 mg/kg) administradas antes y durante el ejercicio, también han resultado en un beneficio ergogénico (Peeling et al, 2018; Peeling et al, 2019). Por el contrario, dosis mayores de cafeína (≥ 9 mg/kg) no parecen mejorar el rendimiento (Peeling et al, 2018). De hecho, es probable que estas dosis aumenten el riesgo de sufrir efectos secundarios negativos, como náuseas, ansiedad, insomnio e inquietud (Peeling et al, 2018).

En pruebas de mayor duración (carreras por etapas) a las descritas previamente, son las propiedades estimulantes de la cafeína las que probablemente sean más importantes para los corredores, especialmente en carreras de >24 h, cuando la falta de sueño y la fatiga afectan al rendimiento. Por la misma razón, el efecto de la cafeína será más eficaz cuando se toma en las últimas etapas de la prueba (Tiller et al, 2019). En este tipo de pruebas de larga duración donde se debe ingerir cafeína durante la actividad, se deben tomar cantidades más bajas, como por ejemplo 1-2 mg/kg. Estas dosis son más apropiadas y seguras durante varias horas y más tolerables (menos efectos secundarios), cuando se consumen varios días seguidos (Tiller et al, 2019).

Un metaanálisis reciente que informa sobre 56 pruebas contrarreloj de resistencia en atletas encontró que la diferencia porcentual entre el grupo de cafeína y el grupo de placebo variaba entre 3,0-15,9% (Guest et al, 2021). Estos resultados destacan la variabilidad interindividual de los efectos de la cafeína, por lo que cada deportista deberá seguir unas pautas ajustándose a sus características y necesidades individuales.

Los efectos mencionados anteriormente son efectos agudos, pero si continúan durante un periodo de tiempo, el efecto acumulativo de estos aumentos también podría afectar a las adaptaciones características del entrenamiento. Además, como la ingestión de cafeína antes del ejercicio puede retrasar la fatiga, las personas pueden entrenar durante más tiempo con una mayor calidad de ejercicio, lo que posteriormente puede mejorar las adaptaciones de entrenamiento a largo plazo. Estas ideas siguen siendo especulativas y se necesita trabajo futuro para poder explicarlas con mayor rigurosidad (Pickering et al, 2019).

RESISTENCIA ANAERÓBICA

La suplementación con cafeína aumentó la velocidad media un 1% en relación con el placebo en las pruebas de resistencia intensas de 45s a 8 min. Las dosis de cafeína que se utilizaron variaron de 2 a 6 mg/kg de peso corporal (Christensen et al, 2018)

En la revisión de Guest et al, donde se analizan también los sprints repetidos, se comprobó que la ingestión de cafeína puede ser beneficiosa para mejorar el rendimiento en sprints únicos e intermitentes, mientras que los efectos de la cafeína en el rendimiento en sprints repetidos son inconsistentes.

De la misma manera, en el estudio de Forbes et al, el consumo de cafeína (3-5 mg / kg de peso corporal) antes del entrenamiento resultó en un trabajo total mayor en el primer intervalo, con mantenimiento, pero no un aumento en sprints posteriores. En este mismo estudio, parece que la cafeína puede mejorar el rendimiento del sprint en sujetos entrenados.

Una explicación posible para justificar la mejora en sprints intermitentes, pero no en sprints repetidos, podría estar relacionada con el menor tiempo de reacción para comenzar el sprint gracias a la cafeína (Santesteban et al, 2017).

FUERZA

Los resultados de la revisión de Grgic et al, mostraron que la cafeína puede ser una ayuda ergogénica eficaz para la fuerza y la potencia muscular, con efectos de pequeños a medianos sobre el rendimiento. Es importante destacar que incluso pequeñas mejoras en el rendimiento en algunos deportes pueden traducirse en diferencias significativas en los resultados competitivos.

Con la ingestión de cafeína se mostró un aumento significativo en la fuerza de la parte superior del cuerpo, pero no en la parte inferior (Grgic et al, 2018).

En cuanto al estado de entrenamiento, se indicó que no hay diferencias significativas en la fuerza máxima en individuos entrenados y desentrenados, pero se necesitan más estudios individuales sobre este tema antes de poder extraer conclusiones firmes (Grgic et al, 2018).

POTENCIA

Se apoya a la cafeína como una ayuda ergogénica eficaz para lograr aumentos agudos en la potencia muscular expresada como altura de salto vertical, así como también en la prueba de Wingate, otra prueba común de potencia (Grgic et al, 2018). Sin embargo, en este estudio parece que la cafeína tuvo un efecto significativo para los atletas, pero no para los no atletas.

En la revisión de Guest et al, además de apoyar los efectos ergogénicos, con efectos similares tanto en la velocidad media como en la máxima, se encuentran mejoras de potencia tanto en los ejercicios de la parte superior como inferior.

Por último, parece que la suplementación con cafeína puede ser útil para mejoras agudas en el rendimiento del ejercicio balístico en forma de saltos y lanzamientos (Guest et al, 2021). Sin embargo, se necesita más investigación en este tema.

Administración

DOSIS

Como se ha mencionado anteriormente, los estudios que informan sobre beneficios en el rendimiento generalmente utilizan dosis de cafeína de 3 a 6 mg/kg de masa corporal (Peeling et al, 2018; Burke et al, 2019; Peeling et al, 2019; Guest et al, 2021; Stecker et al, 2019; Naderi et al, 2016), consumida aproximadamente 60 minutos antes (Stecker et al, 2019; Peeling et al,

2018; Peeling et al, 2019), o durante el ejercicio (Burke et al, 2019; Stecker et al, 2019). En algunos estudios varía ligeramente tanto la dosis como el tiempo de ingesta siguiendo criterios de 3-9 mg/kg tomados 30-90 min antes del ejercicio (Naderi et al, 2016; Kerksick et al, 2018)

Sin embargo, dosis más bajas de cafeína (<3 mg/kg) administradas antes y durante el ejercicio, también han resultado en un beneficio ergogénico (Peeling et al, 2018; Peeling et al, 2019).

Por lo contrario, dosis mayores de cafeína (≥ 9 mg/kg) no parecen mejorar el rendimiento (Peeling et al, 2018). De hecho, es probable que estas dosis aumenten el riesgo de sufrir efectos secundarios negativos, como náuseas, ansiedad, insomnio e inquietud (Peeling et al, 2018).

TIEMPO

La cafeína se absorbe rápidamente en el torrente sanguíneo y los niveles plasmáticos suelen alcanzar su punto máximo en 30-60 minutos (Stecker et al, 2019; Naderi et al, 2016), por lo que los tiempos de ingestión mencionados anteriormente siguen una lógica adecuada. Sin embargo, es importante señalar que las diferencias en el modo de administración de cafeína y los factores genéticos que influyen en el metabolismo de la cafeína hacen que los tiempos de ingestión sean variables (Stecker et al, 2019).

Además, la ingesta de cafeína intra-ejercicio durante pruebas de larga duración puede ser igualmente eficaz en relación con el consumo previo al ejercicio; seis dosis de 1 mg/kg de cafeína cada 20 minutos (Stecker et al, 2019).

FORMA

- Barras y geles

Ciertos estos estudios sugieren que las barras y los geles con 100 mg de cafeína mejoran el tiempo hasta el agotamiento y el rendimiento en las prueba contrarreloj (Wickham et al, 2018).

Se necesita más investigación en esta área, ya que en estos estudios faltaron las mediciones de cafeína en plasma, y las barras y geles con cafeína son fuentes clave para los atletas. (Wickham et al, 2018)

- Chicles

La velocidad de absorción más rápida con el chicle se observa cuando la dosis es de 200 mg, ya que se produce un gran aumento de la concentración plasmática de cafeína entre 5 y 15 min y en menor grado entre 15 y 25 min. Esta velocidad se da en parte por la absorción en la cavidad bucal junto con la absorción al tragar mientras se mastica chicle. (Wickham et al, 2018)

Los chicles con cafeína en dosis de *200–300 mg son ergogénicos en hombres y mujeres entrenados cuando se administra antes o durante un evento de resistencia, así como también mejora el rendimiento en eventos de velocidad y potencia. Sin embargo, ningún estudio ha comparado los efectos del chicle con las cápsulas de cafeína sobre el rendimiento aeróbico en el mismo grupo de sujetos (Wickham et al, 2018).

- Enjuague bucal

En un estudio incluido en la revisión de Wickham et al, al agitar 25 ml de solución de enjuague alrededor de la boca durante 5 segundos y expulsar la solución inmediatamente antes de completar un sprint de 6 s contra una resistencia igual al 10% de su BM, los sujetos mejoraron la potencia media en comparación con el placebo. Además, al repetir 5 sprints enjuagándose la boca durante 5 s, el 50% de los participantes obtuvo su mayor potencia máxima durante los dos primeros sprints.

Actualmente, la mayor parte de la literatura no indica ningún efecto ergogénico del enjuague bucal con cafeína durante 5 a 20 s sobre el rendimiento del ejercicio aeróbico (Wickham et al, 2018).

- Aerosoles nasales y bucales

Los aerosoles bucales y nasales de cafeína están ganando popularidad, ya que la cafeína puede estimular los nervios con conexiones cerebrales directas y entrar en la sangre a través de la absorción pulmonar y mucosa. Sin embargo, hay poco apoyo para cualquier efecto ergogénico ya que la liberación y / o efectividad de la cafeína administrada de esta manera puede ser demasiado pequeña (Wickham et al, 2018).

Variabilidad genética

Gran cantidad de estudios han investigado el efecto de la cafeína en el rendimiento deportivo, pero existe una variabilidad interindividual importante en la magnitud de estos efectos. Estas diferencias interindividuales parecen deberse en parte a la variación en genes como CYP1A2 y posiblemente ADORA2, que están asociados con el metabolismo, la sensibilidad y la respuesta de la cafeína. (Guest et al, 2019)

CYP1A2

Más del 95% de la cafeína es metabolizada por la enzima CYP1A2, que está codificada por el gen CYP1A2. Se ha demostrado que el polimorfismo de un solo nucleótido (SNP) – 163A> C (rs762551) altera la actividad de la enzima CYP1A2, y se utiliza para identificar a los individuos como metabolizadores de cafeína “rápidos” o “lentos”. (Guest et al, 2019)

Los individuos que se consideran metabolizadores lentos, es decir, con el genotipo AC o CC, tienen un riesgo elevado de infarto de miocardio, hipertensión, presión arterial elevada y prediabetes al consumir cafeína (Guest et al, 2019), y representan al 40% y 10% de la población respectivamente (Southward et al, 2018). Aquellos con el genotipo AA (metabolizadores rápidos) no parecen tener estos riesgos (Guest et al, 2019), y representan al 50% de la población (Southward et al, 2018).

Los metabolizadores rápidos no mantendrán altos niveles circulantes de cafeína durante mucho tiempo, mientras que los metabolizadores lentos tendrán una vida media de cafeína más prolongada (Guest et al, 2019).

Por lo que los efectos del CYP1A2 sobre la ergogenicidad de la cafeína pueden ser más evidentes en los eventos de resistencia de larga duración, donde aparecería la fatiga y el metabolismo de la cafeína tendría un efecto más pronunciado (Southward et al, 2018).

ADORA2A

Se ha demostrado que el receptor de adenosina A2A, codificado por el gen ADORA2A, regula la demanda de oxígeno del miocardio y aumenta la circulación coronaria por vasodilatación. El receptor A2A también se expresa en el cerebro, donde regula la liberación de glutamato y dopamina, asociada con la motivación y el esfuerzo en el ejercicio de las personas. El antagonismo de los receptores de adenosina por la cafeína podría diferir según el genotipo ADORA2A, lo que resulta en una señalización alterada de la dopamina y podría explicar las diferencias en cuanto al rendimiento. (Guest et al, 2019)

Los individuos con los genotipos CC y TC parecían conferir una mayor sensibilidad hacia los trastornos del sueño inducidos por la cafeína en comparación con el genotipo TT. Sin embargo, es probable que los individuos con el genotipo TT sean más sensibles a los efectos estimulantes de la cafeína y experimenten un mayor aumento de la sensación de ansiedad después de la ingesta. Aproximadamente el 45% de las personas son portadoras del alelo CT mientras que los portadores TT y CC oscilan entre el 20% y el 30%. (Southward et al, 2018)

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Los resultados de las investigaciones sobre los efectos del genotipo CYP1A2 en la ergogenicidad de la cafeína siguen siendo inconcluyentes, debido en gran medida al escaso número de estudios realizados, los protocolos usados en estos estudios, y el reducido tamaño muestral.

Se ha demostrado que la cafeína como ayuda ergogénica es más efectiva y fiable cuando se usa en ejercicios de resistencia. Por ello, diseños de intervención basados en pruebas de resistencia de larga duración podrían aportar más información que protocolos de fuerza, donde existe una mayor heterogeneidad en los esfuerzos y en las cargas de trabajo. Los protocolos de resistencia no dependen tanto del gesto técnico y se pueden monitorizar las cargas con un acelerómetro. De esta forma, podrían verse diferencias entre los metabolizadores rápidos de cafeína (A/A) y lentos (A/C, C/C) (Southward et al, 2018).

Por esta razón, la intervención podría incluir en una primera aproximación, rutinas de entrenamiento de larga duración. Se podrían extraer muestras de sangre al inicio del protocolo y el último día (20 días de duración es un tiempo razonable para ver cambios de expresión génica). Se extraería el ARN de dichas muestras y se analizaría la expresión del gen CYP1A2, mediante una retrotranscripción para obtener el ADN complementario (ADNc) seguida de una amplificación por PCR (reacción en cadena de la polimerasa).

Además, las dosis utilizadas mayoritariamente en este tipo de estudios suelen ser de 3-6 mg/kg, por lo que en esta propuesta podría utilizarse el mismo rango de dosis, por ejemplo 4 mg/kg.

Por último, otro aspecto a tener en cuenta podría ser el género de los participantes, ya que en la mayoría de los estudios sobre el genotipo CYP1A2 y la cafeína, el número de participantes femeninas es muy reducido. Por lo tanto, se podrían buscar mujeres que entrenen habitualmente rutinas de resistencia. Se seleccionarían con unas características antropométricas y funcionales ($VO_2\max$) lo más similares posible. Se incluiría un periodo de homogeneización para que todas siguieran el mismo tipo de entrenamiento. Se separarían en 2 grupos. El grupo experimental consumiría 4 mg de cafeína/kg y el grupo control no consumiría ningún producto conteniendo cafeína. La dieta y el plan de entrenamiento de ambos grupos sería similar.

Por tanto, los objetivos de la intervención serían los siguientes:

- Comprobar las diferencias entre las individuos con el genotipo A/A (metabolizadoras de cafeína rápidas) con los genotipos A/C y C/C (metabolizadoras lentas), en pruebas de resistencia aeróbica.

- Comprobar si existen diferencias entre las personas con el mismo genotipo, pero diferente género, es decir, entre varones y mujeres, basándose en información publicada previamente.

MUESTRA

Mujeres que entrenen habitualmente rutinas de resistencia. Se seleccionarían con unas características antropométricas y funcionales ($VO_2\max$) lo más similares posible. Se propone una $n=15-20$ para obtener resultados estadísticamente analizables.

PRUEBAS

Entrenamientos rutinarios de resistencia controlados por acelerometría: 90 min de carrera continua al 65% de la $VO_2\max$ y una distancia media de 12-15 km.

PROTOCOLO Y RESULTADOS ESPERABLES

Comparativa entre grupo experimental (consumidoras de cafeína) y control (sin consumo de cafeína). Los resultados serán analizados para extraer las conclusiones correspondientes. Se intentará ver si el género juega algún papel en la velocidad de metabolización de la cafeína.



BIBLIOGRAFÍA

- Borea, P. A., Gessi, S., Merighi, S., Vincenzi, F., & Varani, K. (2018). Pharmacology of Adenosine Receptors: The State of the Art. *Physiological reviews*, 98(3), 1591–1625. <https://doi.org/10.1152/physrev.00049.2017>
- Burke, L. M., Jeukendrup, A. E., Jones, A. M., & Mooses, M. (2019). Contemporary Nutrition Strategies to Optimize Performance in Distance Runners and Race Walkers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(2), 117–129. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0004>
- Christensen, P. M., Shirai, Y., Ritz, C., & Nordsborg, N. B. (2017). Caffeine and Bicarbonate for Speed. A Meta-Analysis of Legal Supplements Potential for Improving Intense Endurance Exercise Performance. *Frontiers in physiology*, 8, 240. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00240>
- Evans, J., Richards, J. R., & Battisti, A. S. (2020). Caffeine. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Forbes, S. C., Candow, D. G., Smith-Ryan, A. E., Hirsch, K. R., Roberts, M. D., VanDusseldorp, T. A., Stratton, M. T., Kaviani, M., & Little, J. P. (2020). Supplements and Nutritional Interventions to Augment High-Intensity Interval Training Physiological and Performance Adaptations-A Narrative Review. *Nutrients*, 12(2), 390. <https://doi.org/10.3390/nu12020390>
- Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15, 11. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0>
- Guest, N. S., Horne, J., Vanderhout, S. M., & El-Sohehy, A. (2019). Sport Nutrigenomics: Personalized Nutrition for Athletic Performance. *Frontiers in nutrition*, 6, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00008>
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., Collins, R., Cooke, M., Davis, J. N., Galvan, E., Greenwood, M., Lowery, L. M., Wildman, R., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- Kreider R, Leutholtz B, Katch F, Katch V. Exercise & sport nutrition. Santa Barbara: Fitness Technologies Press; 2009. (Series Editor)
- Leutholtz B, Kreider R. Exercise and sport nutrition. In: Wilson T, Temple N, editors. Nutritional health. Totowa: Humana Press; 2001. p. 207–39.
- Naderi, A., de Oliveira, E. P., Ziegenfuss, T. N., & Willems, M. T. (2016). Timing, Optimal Dose and Intake Duration of Dietary Supplements with Evidence-Based Use in Sports Nutrition. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*, 20(4), 1–12. <https://doi.org/10.20463/jenb.2016.0031>
- Peeling, P., Binnie, M. J., Goods, P., Sim, M., & Burke, L. M. (2018). Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 178–187. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0343>

- Peeling, P., Castell, L. M., Derave, W., de Hon, O., & Burke, L. M. (2019). Sports Foods and Dietary Supplements for Optimal Function and Performance Enhancement in Track-and-Field Athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(2), 198–209. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0271>
- Pickering, C., & Grgic, J. (2019). Caffeine and Exercise: What Next? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(7), 1007–1030. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01101-0>
- Ribeiro, J. A., & Sebastião, A. M. (2010). Caffeine and adenosine. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, 20 Suppl 1, S3–S15. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-1379>
- Santesteban Moriones, Virginia, & Ibáñez Santos, Javier. (2017). Ayudas ergogénicas en el deporte. *Nutrición Hospitalaria*, 34(1), 204-215. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.997>
- Southward, K., Rutherford-Markwick, K., Badenhorst, C., & Ali, A. (2018). The Role of Genetics in Moderating the Inter-Individual Differences in the Ergogenicity of Caffeine. *Nutrients*, 10(10), 1352. <https://doi.org/10.3390/nu10101352>
- Stecker, R. A., Harty, P. S., Jagim, A. R., Candow, D. G., & Kerksick, C. M. (2019). Timing of ergogenic aids and micronutrients on muscle and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0304-9>
- Tiller, N. B., Roberts, J. D., Beasley, L., Chapman, S., Pinto, J. M., Smith, L., Wiffin, M., Russell, M., Sparks, S. A., Duckworth, L., O'Hara, J., Sutton, L., Antonio, J., Willoughby, D. S., Tarpey, M. D., Smith-Ryan, A. E., Ormsbee, M. J., Astorino, T. A., Kreider, R. B., McGinnis, G. R., ... Bannock, L. (2019). International Society of Sports Nutrition Position Stand: nutritional considerations for single-stage ultra-marathon training and racing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0312-9>
- Wickham, K. A., & Spriet, L. L. (2018). Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(Suppl 1), 79–91. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0848-2>