



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://ws072.juntadeandalucia.es/ojs>



Revisión

Efectos de la suplementación con cafeína sobre la capacidad de producción de fuerza muscular



J. I. Álvarez-Montero^a, F. Mata Ordóñez^{b*}, R. Domínguez^c

^aDepartamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Alfonso X El Sabio. Madrid. España.

^bNutriScience España.

^cFacultad de Ciencias de la Salud. Universidad Isabel I. Burgos. España.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido el 17 de octubre de 2016, aceptado el 15 de febrero de 2017, online el 17 de diciembre de 2018

RESUMEN

El uso de ciertos suplementos puede mejorar el rendimiento deportivo, si bien, la efectividad de éstos es dependiente de las demandas impuestas por el esfuerzo. La suplementación con cafeína ha demostrado ser efectiva, especialmente, en modalidades de resistencia cardiorrespiratoria, sin embargo, son menores el número de estudios que han valorado la efectividad de este suplemento sobre el rendimiento en la función muscular. Con el objeto de valorar el efecto de la suplementación con cafeína sobre la producción de fuerza muscular, se ha realizado una búsqueda de artículos de intervención en las bases de datos *Dialnet*, *Medline*, *PubMed* y *Web of Science*, en un período comprendido entre 2005 y 2015 y publicados en inglés, español o portugués, que hubiesen valorado los efectos de esta suplementación sobre el rendimiento en fuerza. Los resultados de las distintas investigaciones han demostrado que la suplementación con cafeína mejora el rendimiento en la aplicación de fuerza y potencia con cargas superiores al 50% de una repetición máxima, así como el número de repeticiones realizadas con cargas submáximas, especialmente, a medida que aumenta el número de series realizadas.

Palabras clave: Ayudas ergogénicas, entrenamiento de fuerza, ejercicio de fuerza, nutrición deportiva, suplemento, cafeína.

Effects of caffeine supplementation on the production capacity of muscle strength

ABSTRACT

The use of certain supplements can enhance athletic performance, although the effectiveness of these is dependent on the demands imposed by the effort. Caffeine supplementation has proven effective, especially in patterns of cardiorespiratory endurance, however, they are less than the number of studies that have evaluated the effectiveness of this supplement on performance in muscle function. In order to assess the effect of caffeine supplementation on the production of muscle strength, it has made a search intervention bases *Dialnet*, *Medline*, *PubMed* and *Web of Science* data, in a period between 2005 and 2015 and published in English, Spanish or Portuguese, which had evaluated the effects of this supplementation on strength performance. The results of the various investigations have shown that caffeine supplementation improves performance in the application of force and power with over 50% of one repetition maximum (1RM) loads as well as the number of repetitions with submaximal loads, especially, as the number of sets performed.

Keywords: Ergogenic aids, resistance training, resistance exercise, sports nutrition, supplement, caffeine.

Efeitos da suplementação de cafeína na produção de força muscular

RESUMO

A utilização de certos suplementos podem melhorar o desempenho atlético, embora a eficácia destes depende das exigências impostas pelo esforço. A suplementação de cafeína provou ser eficaz, especialmente em modalidades de resistência cardiorrespiratória, no entanto, eles são menos do que o número de estudos que avaliaram a eficácia deste suplemento sobre o desempenho na função muscular. Para avaliar o efeito da suplementação de cafeína na produção de força muscular, ele realizou uma pesquisa bases de intervenção *Dialnet*, *Medline*, *PubMed* e *Web of Science* em um período entre 2005 e 2015 e publicada em inglês, espanhol ou português, que avaliou os efeitos dessa suplementação no desempenho de força. Os resultados das várias investigações têm demonstrado que a suplementação de cafeína melhora o desempenho na aplicação de força e de energia com mais de 50% de cargas máximas uma repetição e o número de repetições com cargas submáximas, especialmente quanto o número de série feita.

Palavras-chave: Substâncias ergogênicas, treinamento de força, exercício de força, nutrição esportiva, suplemento, cafeína.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: fmataor@gmail.com (F. Mata Ordóñez).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.201702.001>

Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Introducción

El uso de suplementos nutricionales es una práctica habitual en la población deportista¹. Según el American College of Sports Medicine, una adecuada selección tanto de nutrientes como de suplementos, que considere el momento de la ingesta en relación al ejercicio, es necesaria para mantener el estado de salud y optimizar el rendimiento en el deportista². Sin embargo, debemos considerar que no todos los suplementos a los que tiene acceso el deportista son eficaces y, además, que la eficacia de cada suplemento varía en función de las demandas específicas de cada modalidad deportiva; por lo que, unos suplementos pueden tener un efecto ergogénico para una determinada modalidad deportiva y no para otra que presente unas demandas fisiológicas diferentes. Por dicho motivo, aunque se ha realizado una clasificación de los distintos suplementos en base al nivel de evidencia que han demostrado los mismos³, actualmente, se está intentando establecer los suplementos con posible efecto ergogénico en función de la modalidad deportiva practicada (Tabla 1).

Tabla 1. Suplementos nutricionales clasificados en función el nivel de evidencia en modalidades deportivas de fuerza y resistencia. Adaptado de Close et al.⁶³

Modalidad deportiva/ Nivel de evidencia	Elevada	Media	Baja
Resistencia	Cafeína Carbohidratos / geles β-alanina Zumo de remolacha Bicarbonato/citrato sódico Antioxidantes	Taurina Jugo de cereza L-carnitina	Efedrina Metilhexanemina Suplementos Herbales Citrulina malato L-arginina Sinefrina
Fuerza	Creatina Proteína	Leucina Aminoácidos de cadena ramificada	Zinc y Magnesio (ZMA) Suplementos herbales Calostro

La cafeína (1,3,7, trimetilxantina) es un alcaloide de la familia de las xantinas metiladas que se encuentra en muchos alimentos de la dieta típica occidental como el café, té, cacao, al tiempo que puede ser sintetizada artificialmente en el laboratorio. La cafeína presenta unos rápidos procesos de absorción a nivel intestinal, encontrándose niveles elevados en sangre en los 15-45 minutos posteriores a la ingesta, siendo los niveles máximos sanguíneos a la hora postingesta⁴. Los efectos de la cafeína presentan un carácter tanto central como periférico⁵.

El principal efecto de la cafeína se debe a un aumento de la estimulación del sistema nervioso central, por mediación del antagonismo de la adenosina⁶ aumenta los niveles de catecolaminas⁷, puede impedir que disminuya la actividad neuronal, incrementando el reclutamiento de unidades motoras y reduce la percepción subjetiva del dolor⁸, efecto acentuado por el aumento en la síntesis de endorfinas⁹. A los anteriores efectos hay que sumarle una mejora en la salida del calcio desde el retículo sarcoplasmático tras el potencial de acción¹⁰, así como una mejora de la contractilidad del músculo esquelético¹¹, mecanismos que mejorarían la contracción muscular. Del mismo modo, la cafeína podría provocar mejoras a nivel termo regulatorio¹².

La suplementación con cafeína se ha convertido en una práctica cada vez más frecuente en la población deportista¹³, habiendo demostrado un efecto ergogénico sobre el rendimiento en modalidades de resistencia cardiorrespiratoria¹⁴ y deportes colectivos^{15,16}. También, se ha comprobado que la suplementación con cafeína puede mejorar la velocidad de reacción en deportistas de combate¹⁷, el saque durante una simulación de un partido de tenis¹⁸ o el rendimiento en series de velocidad de 30 metros, cuando se ha realizado una ingesta de hidratos de carbono previa al esfuerzo¹⁹, sugiriéndose que la suplementación con cafeína podría optimizar el rendimiento de las rutas metabólicas no oxidativas. Mientras que los posibles efectos beneficiosos de la suplementación con cafeína sobre aquellos esfuerzos en los que

destaca el metabolismo no oxidativo parecen ser claros, los mismos efectos sobre esfuerzos que requieren fuerza y potencia muscular, así como en modalidades deportivas de fuerza y potencia necesitan ser mejor estudiados. El objetivo principal de esta revisión bibliográfica ha sido el de comprobar los efectos de la suplementación con cafeína sobre la producción de fuerza muscular.

Método

Para la selección de artículos de este trabajo de revisión bibliográfica se llevó a cabo una búsqueda mediante palabras clave en las bases de datos *Dialnet*, *Medline*, *PubMed* y *Web of Science*. Los términos empleados fueron *caffeine* y *coffee* unidos a los términos *supplement*, *nutrition* y “*ergogenic aids*” junto a otros términos como *strength*, *power*, *hypertrophy*, “*resistance training*” y “*resistance exercise*”. El total de artículos que respondieron a la búsqueda, a fecha 1 de enero de 2016 fue de 135. La búsqueda inicial se acotó a un período de publicación acotado de 2005 a 2015. Los resúmenes de los 94 trabajos publicados en el período temporalmente anteriormente referido fueron leídos por tres investigadores y se les aplicó unos criterios de inclusión/exclusión entre los que se encontraba el idioma (distinto a inglés, español y portugués), patentes, comunicaciones en congresos, revisiones y meta-análisis, estudios realizados en animales, trabajos que no incluían suplementación con cafeína, aquellos que no investigaban variables relacionadas con la fuerza muscular o a los que no se tuvo acceso al texto completo. Como puede verse en la Figura 1, finalmente, un total de 14 artículos fueron seleccionados.

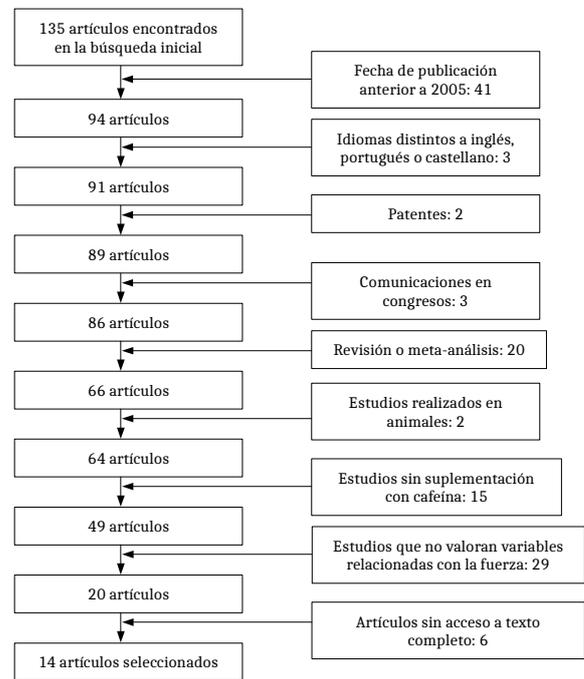


Figura 1. Selección de estudios para la Investigación.

Resultados y Discusión

Efectos de la suplementación con cafeína sobre la fuerza máxima

Por fuerza dinámica máxima se considera a la capacidad de un grupo muscular para producir una contracción voluntaria máxima como respuesta contra una carga externa ante un nivel de motivación óptimo²⁰. La fuerza dinámica máxima suele ser medida mediante la repetición máxima (1 RM)²¹ que se refiere a la máxima carga que un individuo puede desplazar durante todo el rango del movimiento en la fase concéntrica de un ejercicio²². La fuerza máxima, además de depender de la capacidad de producción de fuerza por parte de la fibra muscular, es dependiente de la

capacidad de reclutar fibras musculares, así como de la frecuencia de reclutamiento²³. Por tanto, el rendimiento en fuerza máxima implica a factores tanto estructurales como neurales.

La fuerza máxima es un factor determinante de muchas modalidades deportivas, caso del *powerlifting* o de la halterofilia, en los que el objetivo último de rendimiento es el de obtener el máximo desarrollo de fuerza ante cargas lo más pesadas posibles²⁴, u otros como el rugby, que requieren de unos altos componentes de fuerza en acciones de defensa y placaje del adversario²⁵. Sin embargo, en otras modalidades, como pudiera ser los deportes de velocidad o de equipo, en los que el objetivo principal de rendimiento es el de obtener altos niveles de fuerza de forma rápida²⁶, mejorar el rendimiento en 1 RM posibilita la aplicación de unos mayores niveles de fuerza y potencia ante una misma carga submáxima, ya que, ésta supondría un menor carga relativa²⁷. Por tanto, incrementos de 1 RM, también, son objetivo de modalidades en los que se requiere unos altos niveles de fuerza, potencia o velocidad, como es el caso de los deportes colectivos²⁸.

En modalidades de resistencia aeróbica, en las que la suplementación con cafeína ha demostrado presentar un efecto ergogénico¹⁴, se ha sugerido que la dosis mínima eficaz es de 3 mg·kg⁻¹²⁹ a 3.2 mg·kg⁻¹³⁰ de cafeína, encontrándose un efecto meseta hasta dosis de 9 mg·kg⁻¹³¹. En este sentido, distintas investigaciones que han valorado dosis inferiores a dichas cantidades, tales como 1 mg·kg⁻¹³², 2 mg·kg⁻¹^{33,34} o 201 mg (2.4 mg·kg⁻¹, aproximadamente)³⁵ de cafeína, en distintos ejercicios como pudiera ser la extensión de rodillas, sentadilla o *press* de banca no han demostrado tener ningún efecto ergogénico.

En un estudio en el que se suplementó a un grupo de hombres con un alto nivel de entrenamiento en fuerza se comprobó que una suplementación con 2.4 mg·kg⁻¹ de cafeína, aunque no indujo mejoras en 1 RM en extensión de piernas, sí provocó mejoras en el ejercicio de *press* de banca³⁵. En el mismo ejercicio, otros estudios han comprobado efectos positivos ante dosis de 3 mg·kg⁻¹, en jóvenes entrenados en fuerza³⁶, y de 6 mg·kg⁻¹, en mujeres entrenadas en fuerza³¹. Sin embargo, otros estudios que han aportado dosis situadas entre 3 y 6 mg·kg⁻¹ de cafeína^{37,38}, no han demostrado ningún efecto positivo. Los estudios que han empleado dosis superiores a 3 mg·kg⁻¹ de cafeína y que no han demostrado ningún efecto positivo sobre el 1 RM en el ejercicio de *press* de banca, sin embargo, comparten el hecho de que la muestra escogida por los investigadores era población no entrenada³⁸ o con un nivel no demasiado alto³⁷ de entrenamiento de fuerza.

En natación, en una prueba consistente en dos series de 100m, anteriormente, se ha reportado que la suplementación con 250 mg de cafeína difiere en función del nivel de entrenamiento de los sujetos. De este modo, en dicho estudio se comprobó que la suplementación con cafeína únicamente presentó un efecto ergogénico sobre la velocidad de nado en nadadores entrenados³⁹. Si consideramos que los deportistas con un mayor nivel de entrenamiento presentan unos mayores niveles de masa magra y que la cafeína ejerce efectos tanto relacionados con la transmisión neuromuscular¹¹ como sobre la contracción muscular⁴⁰, los deportistas entrenados podrían presentar un mayor potencial de mejora tras la suplementación con respecto a la población no entrenada, al presentar esta unos menores niveles de masa muscular⁴¹. Por tanto, es posible que, el efecto de la suplementación con cafeína difiera en función del nivel de entrenamiento, siendo mayor el efecto ergogénico en deportistas entrenados.

En cuanto a otro tipos de ejercicios, se ha comprobado que la suplementación con 6 mg·kg⁻¹ de cafeína mejora la fuerza de prensión manual⁸, así como la máxima contracción voluntaria en los ejercicios dirigidos a los flexores de codo, muñeca, extensores de rodilla y flexores de tobillo⁴². En dicha investigación, sin embargo, se encontraron resultados que mostraban una tendencia a la significación estadística en términos de un porcentaje

superior de mejora tras la suplementación a medida que aumentaba el tamaño del grupo muscular movilizado durante el ejercicio⁴². Por dicho motivo, debido a que los miembros inferiores presentan una mayor masa muscular que los superiores⁴³, esfuerzos con una mayor solitud de la musculatura de las extremidades inferiores podrían beneficiarse en mayor grado de la suplementación con cafeína.

Efectos de la suplementación con cafeína sobre cargas submáximas

En gran parte de modalidades deportivas, el objetivo principal es conseguir aplicar los mayores niveles de fuerza en el período de tiempo que el deportista tiene en sus fases propulsivas o el de provocar unos mismos niveles de fuerza en menor tiempo. Eso conlleva a que en el deporte el índice de manifestación de la fuerza (RFD), que relaciona la fuerza alcanzada y el tiempo necesario para ello⁴⁴, sea considerado un parámetro muy específico del rendimiento neuromuscular de los deportistas⁴⁵. De este modo, en la evaluación del rendimiento en fuerza se realiza un análisis de una curva en el que se enfrenta la potencia (fuerza-velocidad) (eje y) ante diferentes % de 1 RM (eje x). En dicho análisis, la aplicación de mayores niveles de potencia o la movilización de una misma carga relativa a mayor velocidad se considera un factor de rendimiento para la mayoría de modalidades deportivas.

Con el objetivo de valorar el efecto de la suplementación con cafeína sobre la capacidad de desarrollar fuerza a mayor velocidad (potencia), en una investigación se valoró la potencia ante un test incremental progresivo en los ejercicios de *press* de banca y media sentadilla con cargas que se incrementaban a intervalos del 10% de 1 RM, comenzando por el 10% de 1 RM y finalizando con el RM³⁶. En dicho estudio se comprobó que a intensidades superiores al 30% de 1 RM, la suplementación con 3 mg·kg⁻¹ de cafeína dio lugar a mayores niveles de potencia, al tiempo que la potencia máxima alcanzada en el test fue un 7% superior en ambos ejercicios.

Un segundo estudio valoró los efectos de la suplementación con distintas dosis (3 mg·kg⁻¹, 6 mg·kg⁻¹ y 9 mg·kg⁻¹) de cafeína sobre la producción de potencia ante un test incremental progresivo, ante cargas relativas del 25%, 50%, 75% y 90% de 1 RM en los ejercicios de *press* de banca y sentadilla completa⁴⁶. Los resultados de dicho estudio demostraron que los efectos eran distintos en las distintas dosis. De este modo, se comprobó que la dosis de 3 mg·kg⁻¹ fue la que mostró un mayor efecto ante cargas del 25% y 50% de 1 RM, si bien, dicha dosis, no tuvo ningún efecto sobre las cargas más altas (75% y 90% de 1 RM) en ninguno de los ejercicios. La dosis de 6 mg·kg⁻¹ de cafeína, por su parte, mostró mejoras ante todas las cargas empleadas en el ejercicio de sentadilla, así como en el 25%, 50% y 75% de 1 RM en *press* de banca. La dosis superior, 9 mg·kg⁻¹ de cafeína, en cambio, fue la única que consiguió obtener mejoras significativas ante todas las cargas empleadas en el test en los dos ejercicios analizados⁴⁶.

Por tanto, la dosis de cafeína para optimizar los efectos ergogénicos de esta sustancia debería ser específica del tipo de carga a superar⁴⁶. Los efectos superiores observados ante cargas del 25 y 50% de 1 RM con una dosis de 3 mg·kg⁻¹ de cafeína con respecto a cantidades superiores⁴⁶, sugieren que ante modalidades en los que se busque aplicar altos niveles de potencia ante cargas bajas (pruebas de velocidad o de salto, por ejemplo), 3 mg·kg⁻¹ de cafeína puede ser una dosis recomendada. Esto concuerda con las recomendaciones dadas en modalidades de resistencia cardiorrespiratoria¹². Por el contrario, modalidades en las que se requiere movilizar cargas elevadas (*powerlifting* y halterofilia o deportes de combate), una cantidad de 3 mg·kg⁻¹ de cafeína podría ser insuficiente, recomendándose dosis de 9 mg·kg⁻¹ de cafeína.

Efecto de la suplementación con cafeína sobre la resistencia muscular

La resistencia muscular hace referencia a la capacidad de un grupo muscular de ejercitarse a un nivel submáximo

(normalmente inferior al 67% de 1 RM) durante muchas repeticiones (12 o más repeticiones) o un período de tiempo prolongado⁴⁷. En cuanto a los efectos de la suplementación con cafeína sobre la resistencia muscular, se ha comprobado que una dosis de aproximadamente 2 mg·kg⁻¹ de cafeína (cantidad contenida en un Red Bull®) no es efectiva para mejorar el rendimiento en una prueba hasta el agotamiento con una carga del 70% de 1 RM³³. En jugadores de rugby de alto rendimiento, también se ha comprobado que una suplementación con 6 mg·kg⁻¹ de cafeína no tiene ningún efecto sobre el número de repeticiones realizadas con una carga de 185 o 225 libras, a pesar de que en dicha investigación se sugiriese un estado favorable para el esfuerzo fruto de una menor sensación de fatiga e incremento del vigor registrados por los deportistas⁴¹.

En deportistas entrenados en fuerza, sin embargo, si se ha demostrado que una dosis de 5 mg·kg⁻¹ de cafeína, a diferencia de una dosis de 2 mg·kg⁻¹, mejoró el trabajo realizado y la potencia media y pico durante la realización de dos series de 40 repeticiones en una máquina isocinética a una velocidad de 180°·seg⁻¹ en flexión y extensión de la rodilla dominante³⁴. En otra investigación realizada con deportistas de nivel intermedio, también, se comprobó una mejora significativa (dos repeticiones) en el número de repeticiones realizadas en un ejercicio de *press* de banca ante una carga del 60% de 1 RM³⁷. En esta investigación, además, el aumento del número de repeticiones se asoció con unos menores niveles de percepción subjetiva del esfuerzo (pudiendo la cafeína actuar como un inductor de un estado favorable relacionado con los sentimientos de fatiga y vigor) y con unas mayores concentraciones de lactato sanguíneo³⁷.

Las mayores concentraciones de lactato sanguíneo encontrados tras la realización del esfuerzo se considera un indicativo de una potenciación del metabolismo glucolítico. Es posible que la cafeína pudiera incrementar la resíntesis de ATP mediante la glucólisis anaeróbica, por mediación de un aumento de la actividad de la fosfofructoquinasa⁴⁸. Sin embargo, adicionalmente, el aumento de la liberación del calcio desde el retículo sarcoplasmático durante la contracción muscular –potenciado mediante la acción de la cafeína¹⁰ activaría la transformación de la enzima glucógeno fosforilasa desde la forma b a la forma a, acelerando la producción de pirúvico⁴⁹. Debido a que el umbral láctico en ejercicios empleados en el entrenamiento de la fuerza se encuentra en torno al 25% de 1 RM^{50,51}, y a que ello implica un incremento de la contribución glucolítica al ejercicio⁵², siendo limitada la oxidación de pirúvico, la suplementación con cafeína podría explicar el mayor número de repeticiones junto con unas mayores concentraciones de lactato³⁷.

Ante la repetición de esfuerzos submáximos, aunque con cargas ligeramente superiores a las empleadas para estudiar la resistencia muscular (10 RM o, aproximadamente, el 75% de 1 RM) se ha visto que, aunque la suplementación con 6 mg·kg⁻¹ de cafeína no es efectiva para mejorar el rendimiento durante una primera serie en los ejercicios de prensa de piernas y de *press* de banca, si se observa una atenuación en la disminución del número de repeticiones en las dos series posteriores⁵³. Ello hace que la suplementación con cafeína pudiera ejercer un efecto positivo en la disminución de la fatiga aún en cargas elevadas en ejercicios empleados para entrenar la fuerza, coincidiendo con los estudios existentes en rugby que han demostrado un rendimiento superior en los jugadores suplementados con cafeína tras la finalización del segundo tiempo de un partido¹⁶.

En cuanto a los efectos de la suplementación con cafeína sobre la percepción de la recuperación se ha comprobado que la suplementación con 5 mg·kg⁻¹ de cafeína, además de mejorar el rendimiento durante la quinta serie con una carga del 75% de 1 RM en *curl* de bíceps (seis repeticiones), reduce el pico de creatin kinasa (CK)⁵⁴. Debido a que los niveles de CK se asocian con la percepción del dolor tras sesiones de entrenamiento de fuerza⁵⁵, una reducción en dichos niveles ejercería como un agente positivo en la sensación de recuperación postesfuerzo. La CK, además, se

asocia con el daño muscular postesfuerzo⁵⁶, por lo que una reducción en los niveles de CK podría suponer una menor degradación proteica, favoreciendo un balance nitrogenado positivo y, con ello, servir de estímulo para inducir la aparición de hipertrofia muscular.

Seguridad de la suplementación con cafeína

A pesar del efecto ergogénico que puede tener la suplementación con cafeína en el rendimiento deportivo, debemos considerar que dicha práctica puede presentar efectos no deseados sobre el organismo del deportista. En cuanto a la dosis mínima considerada eficaz (3 mg·kg⁻¹) se ha probado que es efectiva para incrementar los valores de la frecuencia cardíaca tanto en reposo^{32,37} como al finalizar un esfuerzo de alta intensidad, como sería la realización de pruebas de velocidad, así como en una serie hasta la fatiga en *press* de banca^{37,41}. Dosis superiores (6 mg·kg⁻¹) han demostrado que, además de acentuar los anteriores efectos, son capaces de inducir aumentos de la presión arterial sistólica en reposo, disminuir la capacidad de comunicación verbal, ocasionar déficits de atención, inquietud y angustia¹².

En cuanto a las dosis más altas (9 mg·kg⁻¹), además de acentuar los anteriores efectos, pueden ocasionar otra sintomatología como sudoración profusa, mareos y vómitos⁵⁷. De hecho, los dolores de cabeza y ansiedad que ocasionan las dosis superiores podría disminuir el rendimiento deportivo en algunos sujetos especialmente sensibles a estos efectos, al tiempo que la ingesta durante días consecutivos podría alterar el rendimiento si se acompaña de una alteración del sueño⁵⁸. Debido a los efectos secundarios que pueden acompañar a la suplementación con cafeína, ésta se debería recomendar en los momentos previos a una competición, tras comprobar con anterioridad (en un entrenamiento) que los efectos ergogénicos son superiores a los efectos no deseados, así como desalentar a emplear esta ayuda de forma regular durante el período de preparación del deportista con el hipotético objetivo de poder incrementar la calidad de los entrenamientos y, con ello, las posteriores adaptaciones.

En cuanto a la efectividad de la cafeína anhidra con respecto a la proveniente en el café, a pesar de que se ha sugerido que la presencia de ácidos clorogénicos presentes en el café pudiesen antagonizar los efectos fisiológicos de la cafeína⁵⁹, una investigación ha comprobado que los efectos ergogénicos son similares al aportar café con respecto a cafeína anhidra⁶⁰. De este modo, en un grupo de ciclistas entrenados, se comprobó que los efectos metabólicos no diferían al consumir los dos tipos de cafeína durante una prueba de 30 minutos a carga constante a una intensidad del 55% VO_{2máx} ni durante una prueba contrarreloj posterior de 45 minutos de duración. Por tanto, la cafeína anhidra podría ser tan efectiva como la proveniente de una fuente natural, como es el café, siempre que se de una misma dosis⁶⁰.

Conclusiones

Existiendo efectos positivos sobre la función neuromuscular y el sistema nervioso, la suplementación con cafeína generaría beneficios sobre la fuerza y potencia con cargas desde el 25-100% de 1 RM, existiendo una relación dosis-respuesta entre la cantidad de cafeína y la carga a superar. De este modo, se sugiere que dosis de 3 mg·kg⁻¹ podrían ser ideales cuando el objetivo a superar es la de una situada en torno al 25-50% de 1 RM. Mientras que conforme se incrementase la carga (acercándose al 1 RM), la dosis debería acercarse a 9 mg·kg⁻¹. Del mismo modo, es posible que la cafeína pueda incrementar el rendimiento en pruebas de resistencia muscular localizada, gracias a la potenciación del metabolismo glucolítico, además de atenuar el dolor muscular y asegurar una rápida recuperación tras una sesión de ejercicio. Si bien, el uso de la cafeína debería moderarse, debido a los efectos no deseados que con frecuencia se presentan con su ingesta, especialmente conforme aumenta la dosis ingerida.

Tabla 2. Resumen de estudios que han valorado los efectos de la suplementación con cafeína sobre el rendimiento en fuerza muscular

Cita	Participantes	Condiciones experimentales	VARIABLES	Resultados
8	Hombres supervivientes a un cáncer de próstata (n: 34)	CC: 6 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Fuerza de prensión manual	CC mejora fuerza de prensión manual (41.1 ± 6.8) vs CP (39.9 ± 6.5) en mano dominante CC mejora fuerza de prensión manual (36.8 ± 6.1) vs CP (36.1 ± 6.7) en mano no dominante
12	Mujeres entrenadas (n: 15)	CC: 6 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	1 RM en <i>press</i> de banca Repeticiones hasta el fallo al 60% de 1 RM en <i>press</i> de banca	1RM en <i>press</i> de banca: aumento en CC (52.9kg ± 11.1 kg) vs CP (52.1 kg ± 11.7 kg)
42	Hombres entrenados (n: 16)	CC: 6 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Máxima contracción voluntaria: - Extensores de rodilla - Flexores del tobillo - Flexores del codo - Flexores de la muñeca	Máxima contracción voluntaria en extensores de rodilla: CC aumenta el valor pico del torque un 13.7% (237.0 ± 69.5 Nm) vs CP (208.4 ± 38.3 Nm) Máxima contracción voluntaria en flexores del tobillo: CC aumenta el valor pico del torque un 11.2% (77.4 ± 21.7 Nm) vs CP (69.9 ± 14.9 Nm) Máxima contracción voluntaria en flexores del codo: CC aumenta el valor pico del torque un 9.1% (46.4 ± 11.1 Nm) vs CP (42.5 ± 9.7 Nm) Máxima contracción voluntaria en flexores de la muñeca: CC aumenta el valor pico del torque un 6.3% (8.8 ± 1.6 Nm) vs CP (8.3 ± 1.4 Nm)
33	Jóvenes físicamente activos (n: 17)	CC: 160 mg de cafeína (2 mg·kg ⁻¹ , aproximadamente) CCT: 160 mg de cafeína (2 mg·kg ⁻¹ , aproximadamente) + 200 mg de taurina CP	1 RM en <i>press</i> de banca Repeticiones hasta el fallo al 70% de 1 RM en <i>press</i> de banca	La suplementación no mostró ningún efecto significativo
34	Hombres entrenados (n: 15)	CC2: 2 mg·kg ⁻¹ de cafeína CC5: 5 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	2 series 40 repeticiones de flexión y extensión de rodilla con pierna dominante en máquina isocinética	Extensión de rodilla: - CC5 aumenta la potencia pico vs CP en serie 1 y 2 - CC5 mejora vs CC2 y CP Flexión de rodilla: - CC5 aumenta la potencia pico en flexión de rodilla vs CP en serie 1 - CC5 aumenta el torque pico en serie 1 vs CP en flexión de rodilla
35	Hombres entrenados (n: 37)	GC: 201 mg de cafeína (2.4 mg·kg ⁻¹ , aproximadamente) (n:17) GP (n:20)	1 RM: - Extensión de piernas - <i>Press</i> de banca	1RM <i>press</i> de banca: GC aumenta (2.1 kg y 2.1%)
36	Jóvenes físicamente activos (n: 12)	CC1: 1 mg·kg ⁻¹ de cafeína CC3: 3 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Test incremental progresivo en: - Media sentadilla - <i>Press</i> de banca	Test incremental progresivo en media sentadilla: - CC3 aumenta la potencia con cargas del 30%, 50%, 60%, 70%, 80% y 100% de 1 RM. Diferencias entre condiciones experimentales. - CC3 aumenta la potencia máxima (2726 ± 167 W) vs CP (2554 ± 167 W). Test incremental progresivo en <i>press</i> de banca - CC3 aumenta la potencia con cargas del 30%, 50%, 60%, 70%, 80% y 100% de 1 RM. Diferencias entre condiciones experimentales. - CC3 aumenta la potencia máxima (375 ± 33 W) vs CP (358 ± 35 W).
37	Adultos moderadamente entrenados (n: 13)	CC: 5 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	1 RM en <i>press</i> de banca Repeticiones hasta el fallo al 60% de 1 RM	Repeticiones hasta el fallo al 60% de 1 RM - CC aumenta número de repeticiones (22.4 ± 3.0 repeticiones) vs CP (20.4 ± 3.4 repeticiones) - CC aumenta el peso total levantado (1147.2 ± 261.4 kg) vs CP (1039.4 ± 231.7 kg)
38	Hombres no entrenados (n: 21).	CC: 400 mg de cafeína (4.9 mg·kg ⁻¹ , aproximadamente) CP	1 RM: - Extensión de piernas - <i>Press</i> de banca	La suplementación no mostró ningún efecto significativo
41	Jugadores universitarios de fútbol americano (n: 17)	CC: 5 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Repeticiones hasta el fallo con 185 o 225 lb en <i>press</i> de banca	La suplementación no mostró ningún efecto significativo
46	Jóvenes entrenados (n: 13)	CC3: 3 mg·kg ⁻¹ de cafeína CC6: 6 mg·kg ⁻¹ de cafeína CC9: 9 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Test incremental progresivo (25%, 50%, 75% y 90% de 1 RM): - Sentadilla - <i>Press</i> de banca	Test incremental progresivo en sentadilla - CC3 mejora la potencia media propulsiva con el 25%, 50% y 75% de 1 RM vs CP - CC6 mejora la potencia media propulsiva con el 25%, 50%, 75% y 90% de 1 RM vs CP - CC9 mejora la potencia media propulsiva con el 25%, 50%, 75% y 90% de 1 RM vs CP - Test incremental progresivo en <i>press</i> de banca - CC3 mejora la potencia media propulsiva con el 25% y 50% de 1 RM vs CP en <i>press</i> de banca - CC6 mejora la potencia media propulsiva con el 25%, 50% y 75% de 1 RM vs CP - CC9 mejora la potencia media propulsiva con el 25%, 50%, 75% y 90% de 1 RM vs CP
53	Hombres y mujeres entrenadas (n: 17)	CC: 6 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	10 RM: - Prensa de piernas - <i>Press</i> de banca 3 series de repeticiones el fallo a 10 RM en prensa de piernas y <i>press</i> de banca	Repeticiones al fallo en prensa de piernas: CC aumenta número de repeticiones (12.5 ± 4.2 repeticiones) vs CP (9.9 ± 2.6 repeticiones) en la serie 3
54	Hombres entrenados (n: 12)	CC: 5 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	5 series de repeticiones el fallo al 75% de 1 RM en <i>curl</i> de bíceps Dolor muscular tardío y CK al finalizar y en los 5 días posteriores	CC aumenta número de repeticiones (18 repeticiones) vs CP (12 repeticiones) en la serie 5 CC presenta un menor dolor muscular tardío en los días 2 y 3 posteriores al esfuerzo
62	Hombres entrenados (n: 13)	CC5: 5 mg·kg ⁻¹ de cafeína CC10: 10 mg·kg ⁻¹ de cafeína CP	Fuerza isométrica máxima en flexión de codo	La suplementación no mostró ningún efecto significativo

1 RM: repetición máxima; CC: condición experimental de suplementación con cafeína; CE: condiciones experimentales; CK: creatin kinasa; CP: condición experimental de suplementación con placebo; GC: grupo de suplementación con cafeína; GP: grupo de suplementación con placebo; lb: lib.

Autoría. Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo.
Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** Se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Confidencialidad: Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. Privacidad: Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

Bibliografía

- Knapik JJ, Steelman RA, Hoedebecke SS, Austin KG, Farina EK, Lieberman HR. Prevalence of dietary supplement use by athletes: Systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2016;46(1):103-23.
- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodríguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):709-31.
- Keiner M, Sander A, Wirth K, Schmidbleicher D. Long-term strength training effects on change-of-direction sprint performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):223-31.
- Harland B. Caffeine and nutrition. *Nutrition* 2000; 16: 522-6.
- Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med*. 2009;39(10):813-32.
- Stear SJ, Castell LM, Burke LM, Spriet LL. BJSM reviews: A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 6. *Br J Sports Med*. 2009;44(4):297-8.
- Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med*. 2001;31(11):786-807.
- Cornish RS, Bolam KA, Skinner TL. Effect of caffeine on exercise capacity and function in prostate cancer survivors. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(3):468-75.
- Laurent D, Schneider KE, Prusaczyk WK, Franklin C, Vogel SM, Krssak M, Petersen KF, et al. Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. *J Clin Endocrinol Metab*. 2000;85(6):2170-5.
- Magkos F, Kavouras SA. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2005;45(7-8):535-62.
- Williams J.H. Caffeine, neuromuscular function and high-intensity exercise performance. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991;31(3):481-9.
- Goldstein E, Jacobs PL, Whitehurst M, Penhollow T, Antonio J. Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010;7:18.
- Hoffman JR, Kang J, Ratamesh NA, Jennings PF, Mangine GT, Faigenbaum, AD. Effect of nutritionally enriched coffee consumption on aerobic and anaerobic exercise performance. *J Strength Cond Res*. 2007;21(2):456-9.
- Bell DG, McLellan TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol*. 2002;93(4):1227-34.
- Schneiker KT, Bishop D, Dawson B, Hackett LP. Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(3):578-85.
- Stuart GR, Hopkins WG, Cook C, Cairns, SP. Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11):1998-2005.
- Santos VG, Santos VR, Felipe LJ, Almeida JW Jr, Bertuzzi R, Kiss MA, et al. Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. *Nutrients*. 2014;6(2):637-49.
- Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young WB. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007;2(4):423-38.
- Roberts SP, Stokes KA, Trewartha G, Doyle J, Hogben P, Thompson D. Effects of carbohydrate and caffeine ingestion on performance during a rugby union simulation protocol. *J Sports Sci*. 2010;28(8):833-42.
- Siff MC, Verkhoshansky Y. Super entrenamiento. Barcelona: Paidotribo; 2004. p. 20.
- Ojasto T, Häkkinen, K. Effects of different accentuated eccentric load levels in eccentric-concentric actions on acute neuromuscular, maximal force, and power responses. *J Strength Cond Res*. 2009;23(3):996-1004.
- Bosquet L, Porta-Benache J, Blais J. Validity of a commercial linear encoder to estimate bench press 1 RM from the force-velocity relationship. *J Sports Sci Med*. 2010;9(3):459-63.
- Haff GG, Whitley A, Potteliger JA. A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength Cond J*. 2001;23(3):13-20.
- Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006;1(2):74-83.
- Hrysomallis C. Upper-body strength and power changes during a football season. *J Strength Cond Res*. 2010;24(2):557-9.
- Keiner M, Sander A, Wirth K, Schmidbleicher D. Long-term strength training effects on change-of-direction sprint performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):223-31.
- Naclerio FJ, Colado JC, Rhea MR, Bunker D, Triplett NT. The influence of strength and power on muscle endurance test performance. *J Strength Cond Res*. 2009;23(5):1482-8.
- Smith RA, Martin GJ, Szivak TK, Comstock BA, Dunn-Lewis C, Hooper DR, et al. The effects of resistance training prioritization in NCAA Division I Football summer training. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):14-22.
- Graham TE, Spriet LL. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol* (1985). 1995;78(3):867-74.
- Kovacs EM, Stegen JHCH, Brouns F. Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *J Appl Physiol* (1985). 1998;85(2):709-15.
- Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010;7(1):5.
- Del Coso J, Hamouti N, Estevez E, Mora-Rodríguez R. Reproducibility of two electrical stimulation techniques to assess neuromuscular fatigue. *Eur J Sport Sci*. 2011;11(2):95-103.
- Eckerson JM, Bull AJ, Baechle TR, Fischer CA, O'Brien DC, Moore GA, et al. Acute ingestion of sugar-free red bull energy drink has no effect on upper body strength and muscular endurance in resistance trained men. *J Strength Cond Res*. 2013;27(8):2248-54.
- Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *J Strength Cond Res*. 2010;24(1):257-65.
- Beck TW, Housh TJ, Schmidt RJ, Johnson GO, Housh DJ, Coburn JW, et al. The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res*. 2006;20(3):506-10.
- Del Coso J, Salinero JJ, González-Millán C, Abián-Vicén J, Pérez-González B. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *J Int Soc Sports Nutr*. 2012;9(1):21.
- Duncan MJ, Oxford SW. The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *J Strength Cond Res*. 2011;25(1):178-85.
- Hendrix CR, Housh TJ, Mielke M, Zuniga JM, Camic CL, Johnson, GO, et al. Acute effects of a caffeine-containing supplement on bench press and leg extension strength and time to exhaustion during cycle ergometry. *J Strength Cond Res*. 2010;24(3):859-65.
- Collomp K, Ahmaidi S, Chatard JC, Audran M, Préfaut C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;64(4):377-80.
- Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol* (1985). 1999;87(2):801-8.
- Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. Effect of caffeine as an ergogenic aid during anaerobic exercise performance in caffeine naïve collegiate football players. *J Strength Cond Res*. 2009;23(5):1363-9.
- Timmins TD, Saunders DH. Effect of caffeine ingestion on maximal voluntary contraction strength in upper- and lower-body muscle groups. *J Strength Cond Res*. 2014;28(11):3239-44.
- Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2008;18(4):412-29.
- Tous J. Nuevas tendencias en Fuerza y Musculación 1999. Barcelona: Ergo.
- Sunde A, Støren O, Bjerkaas M, Larsen MH, Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res*. 2010;24(8):2157-65.
- Pallarés JG, Fernández-Eliás VE, Ortega JF, Muñoz G, Muñoz-Guerra J, Mora-Rodríguez R. Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: performance and side effects. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(11):2184-92.
- Earle RW, Baechle TR. Diseño de un programa de ejercicios resistidos. En: Earle, R.W. y Baechle, R.T. (eds.). *Manual NSCA: Fundamentos del entrenamiento personal*. Barcelona: Paidotribo; 2008. p. 441-511.
- Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* (1985). 1989;67(6):2376-82.
- Anselme F, Collomp K, Mercier B, Ahmaidi S, Préfaut C. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;65(2):188-91.
- Garnacho-Castaño MV, Domínguez R, Maté-Muñoz JL. Understanding the meaning of lactate threshold in resistance exercises. *Int J Sports Med*. 2015;36(5):371-7.
- Maté-Muñoz JL, Domínguez R, Barba M, Monroy AJ, Ruiz-Solano P, Garnacho-Castaño MV. Cardiorespiratory and metabolic responses to loaded half squat exercise executed at an intensity corresponding to the lactate threshold. *J Sport Sci Med*. 2015;14(3):648-56.
- Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Maté-Muñoz JL. Metodología de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica en la evaluación funcional. *Arch Med Deporte*. 2015;32(6):387-92.
- Green JM, Wickwire PJ, McLester JR, Gendle S, Hudson G, Pritchett RC, et al. Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007;2(3):250-9.
- Hurley CF, Hatfield DL, Riebe DA. The effect of caffeine ingestion on delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res*. 2013;27(11):3101-9.
- Machado M, Koch AJ, Willardson JM, dos Santos FC, Curty VM, Pereira LN. Caffeine does not augment markers of muscle damage or leukocytosis following resistance exercise. *Int J Sports Physiol Perform*. 2010;5(1):18-26.
- Nissen S, Sharp R, Ray M, Rathmacher JA, Rice D, Fuller JC Jr, et al. Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *J Appl Physiol* (1985). 1996;81(5):2095-104.
- Ahrens JN, Crixell SH, Lloyd LK, Walker JL. The physiological effects of caffeine in women during treadmill walking. *J Strength Cond Res*. 2007;21(1):164-8.
- Reilly T, Edwards B. Altered sleep-wake cycles and physical performance in athletes. *Physiol Behav*. 2007;90(2-3):274-84.
- Graham TE, Hibbert E, Sathasivam P. Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *J Appl Physiol* (1985). 1998;85(3):883-9.
- Hodgson AB, Randell RK, Jeukendrup AE. The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS One*. 2013;8(4):e59561.