

Efectos de la Cafeína como Suplemento Ergogénico en Atletas y Población en General

Porfirio López-Mendoza^a, Royer Pacheco-Cruz^a, Lucía García-Sierra^a, Jonatan Ruíz-Ruíz^a, Fernanda Lizbeth Rodríguez-García^a

Resumen

Las bebidas energéticas con cafeína se han convertido en el suplemento ergogénico más empleado en el ámbito deportivo. A pesar de los resultados comprobados en el mejoramiento del rendimiento físico, la administración de este tipo de bebidas ha estado sujeta a controversia durante décadas debido a los efectos fisiológicos que se derivan del consumo de estas, dentro de los que se encuentran la relajación de músculo liso, la estimulación del sistema nervioso central, el mejoramiento de la capacidad para realizar trabajo muscular, cambios en los parámetros cardíacos, incremento en la oxidación de grasas, en la utilización de triglicéridos por el músculo y glucogenólisis disminuida, así como en la concentración de glucosa sanguínea. La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) se encuentra en su forma natural en las hojas, frutos y semillas de diferentes plantas. Es por ello que el propósito de esta revisión consiste en analizar los efectos de la cafeína como un suplemento ergogénico en atletas y población en general, de acuerdo con la información disponible en la literatura científica actual.

Palabras clave: suplementos ergogénicos, cafeína, atletas.

Introducción

Los suplementos ergogénicos son toda sustancia, proceso o procedimiento que tiene por objetivo mejorar el rendimiento en las diferentes etapas de la competencia deportiva. Se clasifican en tres tipos: fisiológicos, nutricionales y farmacológicos¹. Dentro de estos suplementos se encuentran las bebidas deportivas que han demostrado optimizar el rendimiento atlético durante ejercicios extenuantes, así como la recuperación posterior a los mismos. Dichos suplementos proveen energía derivada de los carbohidratos (CHO) y reemplazan fluidos y electrolitos durante el entrenamiento. En

Abstract

Caffeinated energy drinks have become the most ergogenic supplement used in sports. Despite their demonstrated effects on the improvement of physical performance, the administration of this type of beverages has been subject to controversy for decades. The physiological effects that derive from the consumption of caffeine are as follows: relaxation of smooth muscle, stimulation of the central nervous system, improvement of the capacity to perform muscular work, changes in cardiac parameters, increase in fat oxidation, use of triglycerides by muscle and decreased glycogenolysis, as well as in the concentration of blood glucose. Caffeine (1,3,7-trimethylxanthine) is found in its natural form in the leaves, fruits and seeds of different plants. The aim of this review is to analyze the effects of caffeine as an ergogenic supplement in athletes and the general population, according to the information available in the current scientific literature.

Keywords: ergogenic aids, caffeine, athletes.

el mercado existen diferentes bebidas comerciales las cuales están constituidas por agua, diferentes concentraciones de CHO, bajas cantidades de electrolitos y, algunas veces, otros ingredientes que incrementan el rendimiento corporal². Es por ello que, en la industria alimentaria, algunas empresas han implementado el uso de la cafeína como ingrediente en diversos suplementos ergogénicos con el objetivo de mejorar el ejercicio intermitente en deportistas de alto rendimiento³.

La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) se encuentra en su forma natural en las hojas, frutos y semillas de diferentes plantas como en bayas de guaraná,

^aUniversidad de la Sierra Sur, Licenciatura en Nutrición, Guillermo Rojas s/n esq. Av. Universidad, Col. Universitaria, C.P. 70800; Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México.

Correspondencia: Royer Pacheco Cruz
Universidad de la Sierra Sur, Licenciatura en Nutrición
Correo electrónico: roger_0912@hotmail.es

nueces de cola, yoco, yerba mate, grano de café, cacao, hojas de té, regaliz, entre otros⁵. Entre los mecanismos descritos de los efectos fisiológicos se encuentran la relajación de músculo liso, la estimulación del sistema nervioso central (SNC), el mejoramiento de la capacidad para realizar trabajo muscular, los cambios en los parámetros cardíacos, mayor producción de orina, elevación de los niveles de catecolaminas, una reducción de potasio (K⁺) muscular, así como una acumulación intersticial. La cafeína es considerada una sustancia fisioactiva ya que produce efectos físico-estimulantes como el mejoramiento del estado de ánimo, lo que provoca una reacción de vigilancia y alerta en tiempos más cortos^{6,7}.

El efecto ergogénico potencial de la cafeína en atletas ha estado sujeto a controversia durante décadas. La administración sistémica de la cafeína trae consigo posibles efectos tanto positivos como negativos sobre el rendimiento deportivo. Por ello, el propósito de esta revisión consiste en analizar los efectos de la cafeína como un suplemento ergogénico en atletas y en población en general, de acuerdo con la información disponible en la literatura científica actual.

Efecto ergogénico de la cafeína

El efecto ergogénico de la cafeína durante el rendimiento deportivo ha sido examinado extensivamente^{8, 2, 9, 11, 12, 14, 16-18, 4, 19, 21, 22, 24, 27, 7, 29-33}. Cada uno de los estudios anteriores se enfoca en un deporte específico, ya sea aeróbico o anaeróbico, o en su caso en el sedentarismo, en la cantidad de cafeína y las sustancias con la que es comparada esta última, para poder demostrar los efectos que cada una tiene, con el propósito de llegar a conclusiones y sugerencias sobre la utilización y dosis de la cafeína tanto en deportistas como en personas sedentarias.

Efectos de la cafeína en deportes aeróbicos

La importancia de realizar ejercicio aeróbico durante períodos prolongados radica en sus efectos sobre una buena condición física, debido al incremento de Ácidos Grasos Libres (AGL), glicerol, glucosa y lactato sérico, entre otros. Cox et al.⁸ realizaron un estudio en ciclistas para determinar el efecto de la cafeína durante el ejercicio, com-

parándola con un placebo (bebidas carbonatadas como la Coca-Cola®). Los participantes fueron divididos en dos grupos denominados A y B. El grupo A estuvo compuesto por doce sujetos a quienes se les administraron 6 mg de cafeína por kilogramo de peso corporal (mg/kg), una hora antes de realizar el ejercicio, recibiendo la misma dosis cada veinte minutos durante toda la actividad. A los sujetos del grupo B se les administraron 25 ml de Coca-Cola® a los cien y ciento veinte minutos de la actividad. En ambos grupos se administró la misma cantidad de Coca-Cola® y cafeína. Sin embargo, al grupo A se le proporcionaron 5 ml más de Coca-Cola® a los ochenta y cien minutos de iniciada la actividad. Después de realizar las pruebas de resistencia en ambos grupos se llegó a la conclusión de que tanto la cafeína como la Coca-Cola® ayudaron a los ciclistas a finalizar con su actividad de manera más rápida, sin mostrar algún efecto adverso. Se determinó que al implementar esta cantidad de cafeína en el deportista las concentraciones urinarias no rebasan los 12 g/mL, límite establecido por el Comité Olímpico Internacional.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio anterior, un posible factor que contribuyó a no encontrar diferencias entre ambos grupos fue el uso de la Coca-Cola® (6.3% CHO, 18 mmol/l de sodio; total 75 ml/kg durante dos horas y media; 2.1 g de CHO/kg) que contiene cafeína, además de proporcionar CHO simples, los cuales generan energía de una manera más rápida ayudando así en el rendimiento deportivo.

Sobre este mismo punto, Curetón et al.² observaron que en 16 ciclistas de alto rendimiento las bebidas cafeinadas incrementaron la concentración de glucosa sanguínea, mejorando el rendimiento físico y reduciendo la pérdida de fuerza durante competiciones prolongadas. Esto no fue notado para el caso de las bebidas que solo proveen CHO y electrolitos. La ergogenicidad de las bebidas deportivas cafeinadas parece tener efectos sobre la actividad muscular y el SNC, reduciendo el esfuerzo, la fatiga, el malestar y el dolor.

La ergogenicidad de dichas bebidas se lleva a cabo a través de un mecanismo de acción a nivel local, por un incremento de la actividad nerviosa muscular durante el recorrido y un suministro energético durante el pedaleo, lo que llevaría a mejorar la resistencia deportiva ya que la cafeína

aumenta significativamente la presión arterial, produciendo efectos subjetivos de tipo estimulante y conductuales que mejoran el rendimiento pues tiene efectos psicoactivos, como lo mencionan Childs y De Wit⁶.

Graham et al.⁹ estudiaron el efecto de la ingestión de cafeína sobre el metabolismo de los CHO en el músculo durante el ejercicio. Su estudio incluyó a diez sujetos que realizaban una hora de ejercicio físico con 70% de volumen máximo de oxígeno (VO_{2max}), medido con un ergómetro. Los sujetos realizaron el ejercicio en dos ocasiones (con placebo y cafeína) separadas por una semana. El metabolismo fue cuantificado mediante la combinación de mediciones directas y biopsias del músculo. Los resultados mostraron que la ingestión de cafeína incrementó las concentraciones séricas de AGL y glicerol en una hora en los sujetos seleccionados, en comparación con aquellos a quienes se les administró el placebo. Los niveles de glucosa, lactato sérico y K^+ aumentaron; la ingestión de cafeína estimuló al SNC pero no alteró el metabolismo de CHO o lípidos, sólo elevó la movilización de AGL, catecolaminas y la resistencia vascular.

Está demostrado que en ejercicios donde se utiliza más del 50% de VO_{2max} por una hora, la primera fuente de energía son los CHO y enseguida los lípidos. La energía es utilizada en forma de adenosin tri-fosfato (ATP) producido por las fibras musculares a partir de sustratos energéticos que incluyen la glucosa en primera instancia, seguida por los ácidos grasos y, por último, por proteínas. Con la ingestión de cafeína se incrementa la cantidad de glucosa estimulando al SNC para la movilización de AGL y su conversión en ATP para finalizar el ejercicio físico¹⁰.

Hunter et al.¹¹ evaluaron los efectos de la cafeína en ciclistas que recorrieron cien kilómetros, participando ocho sujetos altamente entrenados. Se realizaron tres ensayos con una ingesta de soluciones y tabletas que contuvieron CHO (placebo) ó 6 mg/kg de cafeína antes y durante el ejercicio. Sesenta minutos antes de empezar las pruebas ingirieron la primera dosis y se les administró una dosis adicional de 0.33 mg/kg de cafeína cada quince minutos. Los resultados indicaron que la potencia media y el tiempo necesario para recorrer cien kilómetros no varió según la ingesta de cafeína o placebo. Sin embargo, se observó un aumento en la actividad y rendimiento deportivo

durante el primer kilómetro, indicando la ausencia de fatiga periférica y estableciendo una estrategia de estimulación que no fue alterada por la ingestión de cafeína. Un factor que intervino en los resultados fue la constante administración de cafeína, por lo que se incrementó la potencia en el primer kilómetro, aunado a un consumo de CHO, generando energía de manera rápida, por lo que los participantes no presentaron fatiga.

Bell et al.¹² estudiaron el efecto de la efedrina y la cafeína en doce deportistas de resistencia al recorrer diez kilómetros. De ellos, seis ingirieron bebidas cafeinadas (4 mg/kg de cafeína y 0.8 mg/kg de efedrina) y el resto ingirió 300 mg de fibra (placebo). Los niveles plasmáticos de cafeína después de una hora setenta y cinco minutos de la ingestión no mostraron diferencia. A los cinco kilómetros, la rapidez del paso fue mayor al utilizar efedrina o en combinación con cafeína. Se demostró que el uso de efedrina o la combinación con cafeína reduce el tiempo de recorrido, comparado con los sujetos que sólo utilizaron cafeína o placebo. Esta respuesta se debe a que la cafeína no puede ser ergogénica cuando la actividad requiere más del 90% del VO_{2max} o si la actividad tiene una duración menor a cuarenta minutos con una intensidad alta.

La cafeína y la efedrina generaron una acción estimulante en el SNC, por lo cual se observó un incremento en la rapidez del paso, en comparación con la fibra (placebo) que no generó energía. Este compuesto tiene funciones específicas (estimular el crecimiento de microorganismos asociados con efectos benéficos para la salud) en el colon, a donde llega intacta debido a que las enzimas secretadas durante el tracto gastrointestinal no la pueden hidrolizar¹³.

De igual manera, Birnbaum y Herbst¹⁴ determinaron el efecto ergogénico de la cafeína en corredores de cross country. En su estudio participaron diez estudiantes universitarios a quienes se les administró una dosis de 7 mg/kg de cafeína y una misma dosis de vitamina C (placebo). Previo a la administración de cafeína se realizó una evaluación para medir el VO_{2max} . Cada participante realizó dos carreras con duración de treinta minutos alcanzando el 70% del VO_{2max} la primera competencia con dosis de cafeína y la segunda con dosis de placebo. Al finalizar la competencia se evaluó la frecuencia cardíaca y la presión sanguínea; esta última se verificó con un estetoscopio y un esfigmomanómetro en el brazo izquierdo. Dentro de

los resultados se observaron un aumento significativo del VO_{2max} , mejoría en la ventilación alveolar así como en el índice de esfuerzo percibido en el grupo que ingirió cafeína. En conclusión, se demostró que una dosis de cafeína (7 mg/kg) mejoró la eficiencia respiratoria en los participantes. La mejoría en la eficiencia respiratoria guarda relación con el efecto que tiene la cafeína sobre la función respiratoria produciendo un aumento de la contractibilidad del diafragma¹⁵.

El consumo de cafeína tiene una relación directa con el retraso de fatiga muscular en deportes prolongados, puesto que aumenta la disponibilidad de AGL, inhibiendo los CHO. Con esto, se evita el agotamiento de las reservas de glucógeno hepático y muscular. La administración de cafeína tiene efecto sobre el SNC, debido a que cuenta con propiedades lipofílicas, que permiten su paso a través de la barrera hematoencefálica, retrasando la fatiga mediada por el bloqueo de los receptores de adenosina, seguida de la liberación de neurotransmisores como dopamina y serotonina. Así mismo, favorece una mayor estimulación en el reclutamiento de unidades motoras, mejorando la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico y finalmente favoreciendo la contracción muscular¹⁶.

Se ha propuesto que el bloqueo de los receptores de adenosina por la acción de la cafeína parece ser el mecanismo más probable de estimulación del SNC y el responsable del retraso de fatiga. Por su parte, Thong y Graham¹⁷ demostraron que la ingestión de cafeína estimula la lipólisis permitiendo mayor utilización de AGL, incrementando la respuesta a la insulina, favoreciendo la translocación de glucosa a la célula. Con esto se genera un retraso en la disminución de las reservas de glucógeno hepático y muscular.

Las observaciones del efecto ergogénico de la cafeína fueron realizadas por Bell y McLellan¹⁸, en veintinueve sujetos que realizaron ejercicio en una bicicleta donde pedalearon por cierto tiempo. En este trabajo se monitoreó en una cinética de seis horas con una dosis constante de 5 mg/kg, concluyendo que los no consumidores presentaron una mayor magnitud y duración de resistencia deportiva que los consumidores habituales.

Abian et al.⁴ realizaron un estudio control con dieciséis deportistas de bádminton. El protocolo

consistió en determinar el efecto de una bebida energética que contuvo 3 mg de cafeína, 18.7 mg de taurina, 4.7 mg de bicarbonato de sodio, 1.9 mg de L-carnitina y 6.6 mg de maltodextrina; contra un placebo con el mismo contenido excepto cafeína. Los resultados de esta investigación evidenciaron un mejor rendimiento en el salto, mejora en los patrones de actividad y optimización en el número de impactos registrados durante el partido. Por lo tanto, la ingesta de 3 mg/kg de cafeína en forma de bebidas energéticas, parece ser segura para jugadores de bádminton, incrementando el rendimiento del salto.

Resultados similares a los anteriores fueron determinados por Abian-Vicen et al.¹⁹ en un juego de baloncesto, donde con la misma dosis de cafeína se incrementó el rendimiento del salto, sin afectar la precisión de tiros. Pérez-López et al.²⁰ hallaron que con la misma dosis de cafeína esta vez en jugadoras de voleibol, aumentó la altura de saltos de potencia contra movimiento y de bloqueo, obteniendo una mayor precisión durante el partido, por lo que se concluye que el aporte de 3 mg de cafeína en bebidas deportivas es ideal para este tipo de disciplinas.

De Moraes et al.²¹ verificaron la influencia de la cafeína en el rendimiento de nueve triatletas en carreras de cinco mil metros y determinaron también los efectos metabólicos sobre la glucosa y el lactato plasmático. Los participantes fueron sometidos a la prueba antes mencionada con un régimen de prohibición total en el consumo de cafeína una semana antes de realizarla. Para el día de la competencia consumieron 5 mg/kg de cafeína o bien una cápsula de 5 mg de maltodextrina (placebo), cuya administración fue aleatoria y a doble ciego. En los resultados únicamente se observó una mejora de tiempo en el desarrollo de la competencia, debido a que las concentraciones de lactato y glucosa plasmática para ambas situaciones no variaron. Dado los argumentos anteriores, es necesario determinar adicionalmente los factores fisiológicos que desencadenan dichos efectos.

Azevedo et al.²² realizaron un estudio para observar el efecto de la administración de 6 mg de cafeína en una prueba de tres mil doscientos metros, observando una mejoría en los tiempos de acuerdo con el VO_{2max} . Como podemos observar, ambos estudios tienen limitantes, sin tomar en cuenta factores ambientales como temperatura

y humedad, así como un control adecuado de la dieta de los participantes.

Los efectos de la cafeína en eventos de resistencia están bien documentados. Dicho efecto se caracteriza por aumentos significativos durante la actividad hasta el agotamiento. De igual forma, existe evidencia de su uso para mejorar el rendimiento durante ejercicio intenso de corta duración de cuatro a diez minutos²³.

Stuart et al.²⁴ estimaron los efectos de la cafeína en el juego de rugby, particularmente en las exigencias físicas, observando una relación entre los cambios del desempeño y los provocados por las concentraciones de epinefrina en plasma. En esta investigación participaron nueve jugadores. Sesenta minutos antes del juego se les administró una cápsula con 6 mg/kg de cafeína o una con dextrosa (placebo). Se analizaron muestras de fluido corporal determinando concentraciones de cafeína de 8.2 µg/ml, mismas que disminuyeron ligeramente durante el juego. De acuerdo con lo anterior, se observó un efecto benéfico sobre las actividades físicas y habilidades requeridas en un juego de rugby. Las concentraciones de epinefrina plasmática antes, durante y después del juego en el grupo experimental analizado se encontraron elevadas en plasma. El rendimiento deportivo fue atribuible a los efectos generados por la cafeína en el SNC o directamente sobre el músculo, ya que la cafeína mejora la liberación de calcio en retículo sarcoplasmático e incrementa el reclutamiento de unidades motoras, generando un retardo en la aparición de fatiga, mediante la inhibición de receptores de adenosina. Los jugadores no consumieron alimentos con cafeína 48 horas previas al estudio, por lo que los autores atribuyen a la cafeína los efectos benéficos sobre el rendimiento deportivo^{25, 26}.

Cabañes et al.²⁷ estudiaron a nueve participantes de alpinismo que ingirieron cápsulas que contenían 3 mg/kg de cafeína o bien un placebo; ambas pruebas se realizaron el mismo día, misma hora, mismo lugar, pero con una semana de diferencia. De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de fuerza, velocidad y aceleración, los cuales fueron medidos por un ergómetro. Sin embargo, el día en que los participantes ingirieron las cápsulas con cafeína desarrollaron 28.5% más de potencia total; de igual manera, se prolongó la aparición de la fatiga. Por tal motivo, con base

en los resultados se sugiere que el desempeño de los jugadores estuvo beneficiado por la ingesta de cafeína, aunque la cantidad consumida fue mínima (3 mg/kg de cafeína). Una debilidad del estudio es que los autores no tomaron en cuenta la intervención de variables independientes como la ingesta de alimentos con cafeína antes del entrenamiento, pudiendo esto ocasionar el rendimiento deportivo favorable en los participantes, debido a que esta sustancia estimula el SNC.

Marriott et al.⁷ evidenciaron los efectos de la cafeína y el bicarbonato de sodio en doce atletas de alta intensidad que consumieron 6 mg/kg de cafeína y 0.4 g/kg de bicarbonato de sodio, o bien, un placebo (harina), por separado cada sustancia. Los participantes intensificaron el ejercicio en dos tiempos: el primero denominado Yo-Yo; el segundo, denominado test de recuperación intermitente nivel 2 (Yo-Yo IR2). Se cuantificaron los niveles de lactato y glucosa sérica. Los resultados arrojaron que la administración de cafeína y bicarbonato de sodio mejoró el rendimiento en un 14 y 23% respectivamente. El bicarbonato de sodio incrementó las concentraciones de lactato después de la realización de Yo-Yo o IR2 en comparación con la cafeína o el placebo. Por ello, la administración de cafeína y bicarbonato de sodio mejoró el rendimiento del ejercicio en Yo-Yo IR2, disminuyendo el esfuerzo percibido después de iniciado el ejercicio.

La administración de bicarbonato de sodio ocasionó un incremento colateral que tuvo un efecto sobre la mejora en el rendimiento de los participantes, debido a que el lactato es transportado hasta el hígado donde puede transformarse de nuevo en piruvato y utilizarse para la síntesis de glucosa (ciclo de Cori). Esta producción provocó el incremento del rendimiento en comparación con la cafeína.

Pereira et al.²⁸ analizaron los posibles efectos de la cafeína sobre el sistema inmunológico, relacionados con el ejercicio intermitente. Participaron quince jugadores profesionales de fútbol soccer en un estudio a doble ciego, a quienes se les administró una dosis de 5.5 mg/kg de cafeína o placebo, cuarenta y cinco minutos antes del ejercicio, el cual consistió en realizar doce series de diez sprints (veinte metros cada uno), con diez segundos de reposo entre los sprints y dos minutos entre las series. Para determinar el efecto de la cafeína, se tomaron muestras sanguíneas antes y después

de culminar la actividad; se realizó también un recuento leucocitario, neutrófilos y linfocitos. Se demostró un aumento en la actividad del sistema inmunológico independientemente del uso o no de la cafeína. De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio, se concluye que la cafeína sólo muestra efectos ergogénicos y no interviene en el aumento de células inmunológicas.

Por su parte Pereira et al.²⁹ investigaron los efectos de la cafeína en el rendimiento, utilizando la prueba de sprints repetida (TSR) en jugadores jóvenes de fútbol soccer. Participaron once atletas de categoría sub-15 sometidos a la TSR. Los índices de rendimiento en la prueba se determinaron con TSR máximo, TSR promedio y el índice de fatiga (IF). Los atletas fueron sometidos a tres condiciones experimentales aleatorias, con 6 mg/kg de cafeína y placebo, ambos administrados sesenta minutos antes de la prueba. Para la toma de la TSR se ejecutaron seis sprints de cuarenta metros separados por veinte segundos de recuperación. De acuerdo con los resultados obtenidos, no se mostraron diferencias en las tres variables estudiadas (TSR máximo, TSR promedio e IF). De este modo, la ingesta de cafeína no fue capaz de mejorar el rendimiento en jugadores de fútbol soccer.

Del Coso et al.³⁰ observaron el rendimiento de participantes semi profesionales, con un aporte de 3 mg/kg de cafeína y en una ocasión ingirieron una bebida energética que contenía cafeína (Red bull). Los resultados mostraron que aumentó la altura en pruebas de salto, velocidad y distancia total recorrida. De igual forma, se notó un aumento en el número de sprints durante todo el partido y se encontraron altas concentraciones de cafeína en orina después del ejercicio. Probablemente las disparidades de los estudios se deben a las diferentes categorías de ejercicio en ambos grupos, y la utilización de la bebida energética, logrando una mayor interacción con el SNC. De la misma forma un estudio hecho por Lara et al.³¹ donde participaron dieciocho mujeres futbolistas que ingirieron 3 mg/kg de cafeína, se obtuvo aumento de la altura y velocidad en saltos contra movimiento y pruebas de sprint, observando la baja utilidad de cafeína. Sin embargo, estos estudios siguen siendo bajo condiciones simuladas, donde los participantes probablemente no se entreguen totalmente ante partidos reales.

deportistas. Materko y Santos³², evaluaron el efecto de la cafeína así como posibles cambios hemodinámicos, en trece voluntarios de un gimnasio. Dicho ensayo clínico se llevó a cabo de manera aleatoria, doble ciego con placebo, cada voluntario realizó tres sesiones de entrenamiento. Los sujetos fueron sometidos a cuatro pruebas de fuerza muscular. Durante la ejecución se manejaron diez repeticiones máximas (posición remo sentado, polea al pecho, extensiones de pierna en máquina y femoral recostado), con una administración al azar de cafeína o placebo. Antes, durante y después de cada prueba fue monitoreada la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Los resultados mostraron un aumento significativo en la fuerza muscular en ejercicios de remo sentado y extensiones de pierna en máquina, en comparación con el grupo control. Se concluyó que una dosis de 250 mg de cafeína puede afectar el rendimiento de la fuerza muscular en pruebas de diez repeticiones máximas en diferentes ejercicios, mejorando el desempeño deportivo en atletas entrenados.

Efectos de la cafeína en deportes anaeróbicos

Las competencias anaeróbicas se caracterizan por ser de corta duración y mayor intensidad. Es por ello que Woolf et al.³³ determinaron el impacto de la cafeína en hombres atletas de 18-40 años de edad, utilizando 5 mg/kg de cafeína, a quienes se les midió la concentración sérica de cortisol, insulina, lactato y glucosa. Posteriormente, un grupo ingirió una bebida cafeínada combinada con 0.125 g/kg de CHO, mientras que el grupo control ingirió la bebida placebo que contenía 0.125 g/kg de CHO. Cincuenta minutos más tarde de la ingesta los atletas desayunaron, a los sesenta minutos después del desayuno se tomaron muestras de fluidos corporales determinando concentraciones de cafeína. Así mismo, los resultados de una frecuencia de consumo de alimentos determinaron que la ingesta dietética de cafeína osciló dentro de un rango de 40.8-50.1 mg/día. Finalmente, se concluyó que el incremento de la competitividad en los atletas estuvo regulado por el consumo moderado de cafeína durante el ejercicio anaeróbico, así como los niveles de hormonas responsables de la fisiología normal y de metabolitos derivados del ejercicio en comparación con el grupo control. Los CHO ingeridos proporcionaron energía que fue utilizada para la generación de ATP. Además

del lactato se generó piruvato para la producción de glucosa, resultando en el mejoramiento del rendimiento deportivo³⁴.

Para corroborar los resultados antes mencionados Astorino et al.³⁵ examinaron el efecto de la cafeína en la función muscular, producción de energía, fatigabilidad y trabajo total en cincuenta hombres activos sometidos a ejercicio isocinético. El entrenamiento consistió de dos competencias de cuarenta repeticiones con flexión y extensión máxima de rodilla. Antes de cada prueba, los sujetos se abstuvieron del consumo de cafeína y de ejercicio intenso por cuarenta y ocho horas. Los resultados del estudio revelaron que dosis de 5 mg/kg de cafeína mejoran el rendimiento durante la fatiga, pero no en una dosis de 2 mg/kg, ingerida una hora antes del ejercicio. El rendimiento muscular incrementó sólo durante la competencia, lo que sugiere que la cafeína no puede alterar el rendimiento cuando el músculo ya está fatigado.

En el mismo contexto, Santos et al.³⁶ investigaron el efecto de la cafeína sobre el tiempo de reacción en una tarea específica de taekwondo y el rendimiento atlético durante un combate simulado del mismo. Los atletas ingirieron 5 mg/kg de cafeína o el placebo en dos combates, con espacios de veinte minutos entre cada uno. Los resultados sugirieron que la cafeína, redujo el tiempo de reacción en condiciones sin fatiga y retrasándola en combates sucesivos de taekwondo.

Behrens et al.³⁷ compararon la función neuromuscular de flexores plantares en trece sujetos sanos, físicamente activos, no fumadores de 25 ± 3 años de edad, posterior a la administración de cafeína o placebo. El test neuromuscular fue aplicado antes y después (una hora) de la ingestión de cafeína o placebo. Los resultados sugirieron que la cafeína aumentó únicamente la fuerza explosiva del tríceps sural, debido a la activación neural durante el inicio de la contracción.

Durante el ejercicio anaeróbico se han utilizado diferentes suplementos para mejorar el rendimiento. Bell et al.³⁸ investigaron el efecto de la cafeína y efedrina sobre el rendimiento en este tipo de ejercicio. El protocolo se realizó en dos grupos, donde los participantes ingirieron cafeína, efedrina o una combinación de estas. El grupo 1 estuvo integrado por dieciséis sujetos con un rendimiento de treinta segundos y evaluados por medio del test Win; el grupo 2 estuvo inte-

grado por ocho sujetos con un rendimiento de 125% VO_{2max} , evaluado por el test de déficit de oxígeno acumulado. Los ensayos comenzaron una hora y media después de la ingesta de 5 mg/kg de cafeína o 1 mg/kg de efedrina, una combinación de ambas o placebo. La efedrina incrementó el poder y duración del ejercicio según resultados obtenidos por el test Win, la cafeína prolongó el tiempo para evitar llegar al cansancio. La cafeína, efedrina o ambas incrementaron los niveles de lactato, glucosa y catecolaminas. La mejora del rendimiento en el ejercicio anaeróbico, resultó importante por la estimulación del SNC como efecto de la efedrina y cafeína en el músculo.

El incremento de lactato y glucosa favorecieron el rendimiento deportivo, debido a que en el sarcoplasma la activación de la glucólisis anaeróbica no mitocondrial, produciendo los ATP necesarios para la contracción muscular. Mientras que las catecolaminas estimularon al SNC, provocando en el sistema muscular un estado de alerta e hiperactividad, para la producción de energía³⁹.

En una situación similar Del Coso et al.⁴⁰ observaron un aumento en el rendimiento muscular durante pruebas de potencia, elevándose al máximo en rutinas de media sentadilla y press de banco, denotando que la misma ingesta de cafeína mejoró significativamente la fuerza muscular. Así mismo, Goldstein et al.⁴¹ observaron a quince mujeres mostrando la capacidad de realizar repeticiones en press de banco hasta llegar al agotamiento. Se les administraron 6 mg/kg de combinado con agua saborizada y sólo se utilizó agua como placebo. Los resultados mostraron que el principal hallazgo fue la eficaz mejora en la fuerza, pero no en la resistencia muscular.

Efectos de la cafeína en inactividad física

Batram et al.⁴² analizaron el efecto de la cafeína sobre la producción de glucosa endógena en sujetos universitarios. De igual manera, se analizó si la acción de la adrenalina era partícipe en los efectos ejercidos por la cafeína. El protocolo consistió en administrar una cápsula de 5 mg/kg de cafeína, infusiones de adrenalina en concentraciones de 1.2 nM o 0.75 nM, así como una cápsula de gelatina (placebo). Los resultados obtenidos mostraron que la administración de cafeína aumentó los niveles de adrenalina en dichos sujetos, pero no hubo un efecto en la producción de glucosa

endógena. El efecto anterior está relacionado con el aumento en la oxidación de AGL, reduciendo la de CHO, mostrando así el aumento en la disponibilidad de AGL musculares para la mejora en la realización de ejercicios⁴³.

Finalmente, Wallman et al.⁴⁴ determinaron el efecto de la cafeína como suplemento ergogénico en población sedentaria femenina. En esta intervención se administró cafeína y placebo, el cual se realizó en dos tiempos, a los diez y quince minutos; las participantes realizaron ciclismo estacionario para comprobar el efecto de la cafeína. El resultado fue un mayor rendimiento en la actividad realizada al administrar cafeína a los quince minutos y se mostró una mejoría en el VO_{2max} . Esto demuestra que en individuos sedentarios que realizan alguna actividad física en determinado momento, el uso de cafeína resulta favorable para realizar actividades físicas.

El efecto ergogénico de la cafeína presentado en mujeres sedentarias se debe a que, independientemente de que no realizan algún tipo de actividad física, la ingesta de esta sustancia al momento de realizar algún ejercicio físico aumenta la resistencia y disminuye la grasa corporal⁴⁵.

Conclusión

La literatura científica sugiere que la ingesta de cafeína favorece un mejor rendimiento en atletas y población general que practica ejercicio regular aeróbico y anaeróbico. Los resultados de los diferentes estudios dependieron de los antecedentes de consumo habitual de cafeína, la dosis de la misma y el protocolo utilizado para evaluar el efecto, así como el estado de entrenamiento de los sujetos. La cafeína tiene una propiedad ergogénica en individuos que practican deportes de larga duración, alta y mediana intensidad. La dosis recomendada es menor a los 6 mg de cafeína por kilogramo de peso corporal ingerida una hora antes del ejercicio, evitando ingerir alimentos adicionados con cafeína 24 horas previas a la competencia.

Agradecimientos

Al Profesor Investigador de la Universidad de la Sierra Sur (UNSI), el Dr. Nemesio Villa Ruano,

por el apoyo brindado en la organización de esta investigación y dar seguimiento a la misma.

Referencias

- [1] Ballistreri MC, y Corradi-Webster CM. El uso de bebidas energizantes en estudiantes de educación física. *Revista Latino Americana de Enfermagen*. 2008;16:558-564.
- [2] Curetón KJ, Warren GL, Millard-Stafford ML, Wingo JE, Trilk J, Buyckx M. Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2007;17:35-55.
- [3] Chia-Lun L, Ching-Feng C, Todd AA, Chia-Jung L, Hsin-Wei H, y Wen-Dien C. Effects of carbohydrate combined with caffeine on repeated sprint cycling and agility performance in female athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2014;11:1-12.
- [4] Abian P, Del Coso J, Salinero JJ, Gallo-Salazar C, Areces F, Ruiz-Vicente D, Lara B, Soriano L, Muñoz V, y Abian-Vicen J. The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite bádminon players. *Journal of Sports Sciences*. 2014;33:2-9.
- [5] Namešanský J, Hrnčiriková I, y Smolka O. Caffeina effect on extending time to exhaustion. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2014;9:S504-S511.
- [6] Childs E, y De Wit H. Subjective, behavioral, and physiological effects of acute caffeine in light, non-dependent caffeine users. *Psychopharmacology*. 2006;185:514-523.
- [7] Marriott M, Krusturup P, y Mohr M. Ergogenic effects of caffeine and sodium bicarbonate supplementation on intermittent exercise performance preceded by intense arm cranking exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2015;12:1-8.
- [8] Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, Megan EA, Clinton RB, Theodore AM, Martin DT, Moquin A, Roberts A, Hawley JA, y Louise MB. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93:990-999.

- [9] Graham TE, Helge JW, MacLean DA, Kiens B, y Richter EA. Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism human skeletal muscle during exercise. *Journal of Physiology*. 2000;529:837-847.
- [10] Sánchez BJL. Efectos del ejercicio físico y una dieta saludable. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 2009;29:46-53.
- [11] Hunter AM, Clair GAS, Collins M, Lambert M, y Noakes TD. Caffeine ingestion does not alter performance during a 100-km cycling time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2002;12:438-452.
- [12] Bell DG, Mcllellan TM, y Sabiston CM. Effect of ingesting caffeine and ephedrine on 10-km run performance. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 2002;34:344-349.
- [13] Escudero AE, y González SP. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 2006;21:61-72.
- [14] Birnbaum LJ, y Herbst JD. Physiologic effects of caffeine on cross-country runners. *Journal Strength and Conditioning Research*. 2004;18:463-465.
- [15] Pardo-Lozano R, Álvarez-García, y Barral D. et al. Cafeína un nutriente, un fármaco, o una droga de abuso. *Adicciones* 2007;19:225-238.
- [16] Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J, y Hand GA. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. 2002;284:R399-R404.
- [17] Thong FSL, y Graham TE. Caffeine-induced impairment of glucose tolerance is abolished by β -adrenergic receptor blockade in humans. *European Journal of Applied Physiology*. 2002;92:2347-2352.
- [18] Bell DG, y Mcllellan TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93:1227-1234.
- [19] Abian-Vicen J, Puente C, Salinero JJ, González-Millán C, Areces F, Muñoz G, Muñoz-Guerra J, y Del Coso J. A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids*. 2014;46:1333-1341.
- [20] Pérez-López, Salinero JJ, Abian-Vicent J, Valadés D, Lara B. Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2015;47:850-856.
- [21] De Moraes MPH, Correa MAF, Fontana KE, y Devidé NJA. Influência da cafeína no desempenho da corrida de 5000 metros. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva*. 2013;7:279-286.
- [22] Azevedo RC, Filho PNQ, Ramos SB, Rabelo AS, Aredes SG, Dantas EHM. Efectos ergogénicos de la cafeína en el test de 3.200 metros. *Fitness y Performance Journal*. 2004;3:225-230.
- [23] Doherty M, Smith PM, Hughes MG, y Davison RC. Caffeine lowers porcentage response and increases power output during high-intensity cycling. *Journal Sport Science*. 2004;22:637-643.
- [24] Stuart GR, Hopkins WG, Cook C, y Cairns SP. Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2005;37:1998-2005.
- [25] Davis JM, Zuowei Z, Howard SS, Kristen AM, Buggy J, y Gregory AH. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. 2003;284:R399-R404.
- [26] Magkos F, Kavouras SA. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and celular mechanisms of action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2005;45:535-562.
- [27] Cabañes A, Salinero JJ, y Del Coso J. La ingestión de una bebida energética con cafeína mejora la fuerza-resistencia y el rendimiento en escala deportiva. *Archivos de Medicina en el Deporte*. 2013;30:215-220.
- [28] Pereira P, Machado M, Sampaio-Jorge F, Barreto JG, y Lazo-Osorio RA. Intermittent exercise and caffeine supplementation: effects on the white blood cells. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*. 2008;32:353-361.
- [29] Pereira LA, Bortolotti H, Pasquarelli BN, Pedroso JAB, Avelar A, Estanislau C, y Altinari LR. Cafeína melhora o desempenho em teste de sprints

repetidos em jovens jogadores de futebol?. Revista de Andaluza de Medicina del Deporte. 2011;4:109-113.

- [30] Del Coso J, Muñoz-Fernández VE, Muñoz G, Fernández-Elías VE, Ortega JF, Hamouti N, Barbero JC, Muñoz-Guerra J. Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. PLoS One. 2012a;7:e31380.
- [31] Lara B, Gonzalez-Millán C, Salinero JJ, Abian-Vicen J, Areces F, Barbero-Alvarez JC, Muñoz V, Portillo LJ, Gonzalez-Rave LM, Del Coso J. Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. Amino Acids. 2014;46:1385-1392.
- [32] Materko W, y Santos EL. Efeito agudo da suplementacao da cafeína no desempenho da força muscular e alteracoes cardiovasculares durante o treino de força. Motricidade. 2011;7:29-36.
- [33] Woolf K, Bidwell WK, y Carlson AG. The Effect of Caffeine as a Ergogenic Aid in Anaerobic Exercise. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2008;18:412-429.
- [34] Martín MAM, González MC, y Llop F. Presente y futuro del ácido láctico. Archivos de Medicina del Deporte. 2007;120:270-284.
- [35] Astorino TA, Terzi MN, Roberson DW, y Burnett TR. Effect of two doses of caffeine on muscular function during isokinetic exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2010;42:2205-2210.
- [36] Santos VG, Santos VR, Felipe LJ, Almeida JW, Bertuzzi R, Kiss MA, y Lima-Silva AE. Caffeine Reduces Reaction Time and Improves Performance in Simulated Contest of Taekwondo. Nutrients. 2014;6(2):637-649.
- [37] Behrens M, Mau-Moeller A, Heise S, Skripitz R, Bader R, y Bruhn S. Alteration in neuromuscular fuction of the planter flexors following caffeine ingestion. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 2015;25:e50-e58.
- [38] Bell DG, Jacobs I, y Ellerington K. Efficacy of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. Medicine and Science in Sport and Exercise. 2001;33:1399-1403.

el papel de la producción de lactato en la regulación de la excitabilidad durante altas demandas de potencia en las fibras musculares. Archivos de Medicina del Deporte. 2010;137:211-230.

- [40] Del Coso J, Salinero JJ, Gonzalez-MC, Javier AV, Benito PG. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2012b;9:21.
- [41] Goldstein E, Jacobs PL, Whitehurst M, Penhollow T, y Antonio J. Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2010;7:18.
- [42] Battram DS, Graham TE, Richter EA, y Dela F. The effect of caffeine on glucose kinetics in humans-influence of adrenaline. Journal the Physiological Society. 2005;569:347-355.
- [43] Terry EG, y Lawrence LS. Cafeína y rendimiento en el ejercicio. Gatorade Sports Science Institute. 1996;09:1-15.
- [44] Wallman KE, Goh JW, y Guelfi KJ. Effects of caffeine on exercise performance are sedentary females. Journal of Sport Science and Medicine. 2010;9:183-189.
- [45] Smith AE, Lockwood CM, Moon JR, Kendall KL. et al. Physiological effects of caffeine, epigallocatechin-3-gallate, and exercise in overweight and obese women. Journal of Applied Physiology. 2010;85:607-616.

Recibido: 7 de diciembre de 2016

Corregido: 29 de marzo de 2017

Aceptado: 30 de marzo de 2017

Conflicto de interés: No existe conflicto de interés