



## CAFEÍNA Y RENDIMIENTO DEPORTIVO: UNA ACTUALIZACIÓN

Lawrence L. Spriet, PhD | Salud Humana & Ciencias de la Nutrición, Universidad de Guelph, Guelph, Ontario, Canadá

### PUNTOS CLAVE

- Está bien establecido que dosis de cafeína moderadas a altas (5-9 mg/kg de masa corporal (MC)), consumidas antes y durante el ejercicio, aumentan el rendimiento de resistencia en el laboratorio y en ámbitos deportivos. Estas dosis están asociadas con aumento en la frecuencia cardíaca y niveles en sangre de catecolaminas, lactato, ácidos grasos libres y glicerol en muchos sujetos. Sin embargo, algunos efectos secundarios que ocurren frecuentemente incluyen malestar gastrointestinal, nerviosismo, confusión mental, inhabilidad para concentrarse y alteración del sueño.
- Dosis de cafeína más bajas (<3 mg/kg MC, ~200 mg) tomadas antes, durante y en las etapas tardías en el ejercicio también aumentan el rendimiento de resistencia, y no ocasionan los cambios fisiológicos y efectos secundarios señalados anteriormente en la mayoría de los individuos.
- La cafeína también es ergogénica en muchas formas de ejercicio de corta duración y alta intensidad y deportes intermitentes de equipo, donde la provisión de energía anaeróbica juega un papel significativo en el rendimiento exitoso.
- Los efectos ergogénicos de la cafeína parecen resultar de las interacciones antagonistas con los receptores de adenosina en el sistema nervioso central y periférico, aumentando el impulso central y disminuyendo la percepción del esfuerzo y el dolor durante el ejercicio.
- Los efectos ergogénicos de la cafeína se mantienen cuando se administran en formas alternativas distintas de cápsulas/tabletas y café, incluyendo bebidas deportivas y energéticas, geles, goma de mascar, barras y tiras bucales solubles. El enjuague bucal con cafeína y la administración en aerosol es menos probable que produzcan efectos ergogénicos.
- Aún no está claro si los polimorfismos genéticos relacionados con el metabolismo de la cafeína o la densidad de receptores de adenosina pueden explicar la variabilidad interindividual observada en la respuesta ergogénica a la administración de cafeína.

### INTRODUCCIÓN

La cafeína puede ser el “suplemento” más estudiado sobre el planeta. Se ha demostrado que es “ergogénico” o que “aumenta el rendimiento” en casi todos los escenarios deportivos donde ha sido estudiado. Aunque la cafeína no tiene valor nutricional, se consume mundialmente en una variedad de escenarios sociales y deportivos y fue eliminado de la lista restringida de la Agencia Mundial Antidopaje en 2004. El consumo de cafeína para mejorar el rendimiento se remonta a muchos siglos atrás, y los estudios publicados que examinan los efectos de la cafeína en el deporte ya aparecían a inicios del siglo XX (Rivers & Webber, 1907) como lo analizan Burke y colaboradores (2013). Sin embargo, mucha gente reconoce el trabajo pionero del Dr. David Costill y colaboradores en la Universidad Estatal Ball en los últimos años de los 70 como responsable del interés científico en la cafeína. Su trabajo encontró que ciclistas entrenados mejoraban sus tiempos de ciclismo hasta el agotamiento (a ~80% del consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx)), de 75 min en la condición placebo a 96 min después del consumo de 5 mg/kg masa corporal (MC) de cafeína (~330 mg) en café (Costill et al., 1978). En un segundo estudio se dieron 250 mg de cafeína al inicio del ejercicio y después otros 250 mg en siete dosis durante el ejercicio y reportaron un 20% de aumento en el trabajo completado durante 2 h de ciclismo (Ivy et al., 1979).

Desde entonces, la investigación ha continuado para examinar muchos aspectos del consumo de cafeína en la carrera, ciclismo, remo, deportes individuales y de equipo, ejercicio de fuerza, ejercicio de sprints y muchos ejercicios adicionales o eventos deportivos. El

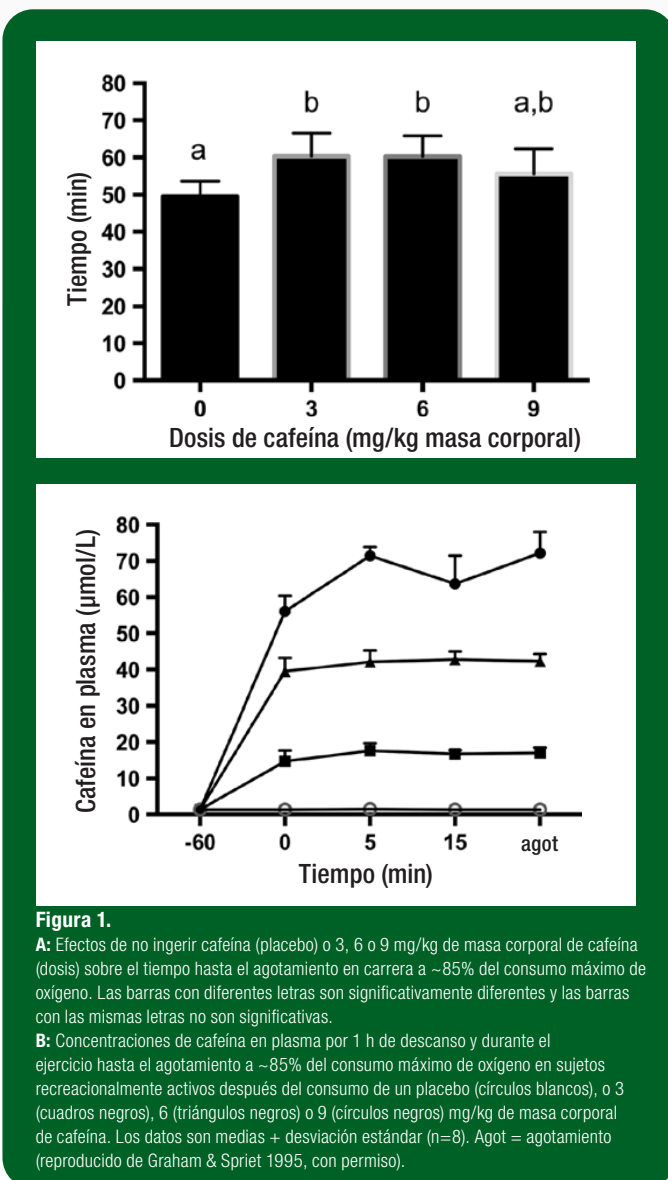
interés continuo en la cafeína es a tal punto que los “metaanálisis” y “artículos de revisión” casi superan en número los “estudios experimentales” reales (ver Pickering & Grgic, 2019 para obtener un listado), pero estos artículos permiten al lector revisar la bibliografía con respecto a los efectos ergogénicos de la cafeína en muchos tipos de ejercicio y deportes. El propósito de este artículo de Sports Science Exchange es examinar algunas de las áreas nuevas de investigación e información de la cafeína.

### EL PANORAMA CAMBIANTE DE LA INVESTIGACIÓN DE LA CAFEÍNA

La investigación de cafeína en el ejercicio y en los escenarios deportivos ha cambiado en los últimos 10-15 años, ya que ha habido interés en, (1) examinar los efectos ergogénicos de las dosis bajas de cafeína (definidas aquí como <3 mg/kg MC, ~200 mg), incluyendo dosis divididas de cafeína, antes y durante una amplia variedad de situaciones de ejercicio y deportes, (2) utilizar pruebas de ejercicio del mundo real (por ej., pruebas contrarreloj (PC)) y atletas entrenados para evaluar los efectos de la cafeína sobre el rendimiento durante sus eventos/deportes reales, (3) administración de cafeína en formas alternativas, incluyendo soluciones de carbohidratos y electrolitos (SCE), geles, barras, gomas de mascar, tiras bucales solubles, enjuague bucal y aerosoles, y (4) el papel que la variación genética puede jugar en explicar la variabilidad de los efectos ergogénicos de la suplementación con cafeína.

## LAS DOSIS BAJAS DE CAFEÍNA SON ERGOGÉNICAS

En muchos estudios usando dosis moderadas a altas de cafeína (5-9 mg/kg MC) se reportaron efectos ergogénicos en actividades de resistencia (Fig. 1A) y efectos pronunciados sobre las respuestas fisiológicas al ejercicio, incluyendo aumento de la frecuencia cardiaca, duplicación de los niveles de catecolaminas, mayores niveles de lactato en sangre y también aumento de los niveles de ácidos grasos libres (AGL) y glicerol en sangre en algunos sujetos (Graham & Spriet, 1991; 1995; Pasman et al., 1995). Estas dosis también produjeron algunos efectos secundarios problemáticos, incluyendo malestar gastrointestinal, nerviosismo, confusión mental, inhabilidad de concentrarse y alteraciones del sueño. Sin embargo, la administración de dosis más bajas de cafeína (3 mg/kg MC) también produjeron un efecto ergogénico con distintos incrementos en las concentraciones de cafeína en plasma (Fig. 1B), pero sin cambios en las respuestas fisiológicas al ejercicio y pocos, o ningún efecto secundario (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995).



**Figura 1.**

**A:** Efectos de no ingerir cafeína (placebo) o 3, 6 o 9 mg/kg de masa corporal de cafeína (dosis) sobre el tiempo hasta el agotamiento en carrera a ~85% del consumo máximo de oxígeno. Las barras con diferentes letras son significativamente diferentes y las barras con las mismas letras no son significativas.

**B:** Concentraciones de cafeína en plasma por 1 h de descanso y durante el ejercicio hasta el agotamiento a ~85% del consumo máximo de oxígeno en sujetos recreacionalmente activos después del consumo de un placebo (círculos blancos), o 3 (cuadros negros), 6 (triángulos negros) o 9 (círculos negros) mg/kg de masa corporal de cafeína. Los datos son medias + desviación estándar (n=8). Agot = agotamiento (reproducido de Graham & Spriet 1995, con permiso).

En varios estudios recientes se ha demostrado que dosis más bajas de cafeína son ergogénicas cuando se dan antes del ejercicio en eventos de resistencia cortos y más prolongados (Clarke et al., 2019; Lane et al., 2014; Pitchford et al., 2014; Skinner et al., 2019), ejercicios de fuerza y resistencia muscular (Grgic et al., 2020a), deportes intermitentes de equipo como el baloncesto, voleibol, fútbol, rugby, hockey sobre césped (para revisiones, ver Burke, 2008; Chia et al., 2017; Salinero et al., 2019; Spriet, 2014), y hockey sobre hielo (Madden et al., 2019), así como deportes individuales como la natación (Lara et al., 2015), golf (Stevenson et al., 2009) y tenis (Gallo-Salazar et al., 2015) tanto en hombres como en mujeres.

En las investigaciones también se ha demostrado que los atletas bien entrenados son muy sensibles a pequeñas dosis de cafeína en las etapas tardías del ejercicio prolongado sin consumir cafeína antes del ejercicio (Cox et al., 2002; Talanian & Spriet, 2016). Por ejemplo, se analizaron los efectos de dos dosis bajas de cafeína sobre el rendimiento en una PC posterior a ciclismo prolongado, en 15 ciclistas y triatletas bien entrenados mujeres y hombres, que no eran consumidores de cafeína (Talanian & Spriet, 2016). Ellos completaron cuatro pruebas, doble ciego y aleatorizadas, donde pedalearon por 120 min a ~60%  $VO_2$  máx, con cinco subidas de cuestas a ~85%  $VO_2$  máx, seguido por una prueba contrarreloj (PC) de 6 kJ/kg MC con duración de 25-30 min. En todas las pruebas, los sujetos consumieron 5 mL/kg MC de SCE (6% carbohidratos (CHO), 20 mmol/L sodio) durante los 120 min. A los 80 min, los sujetos recibieron una de tres condiciones en sus SCE: placebo (SCE regular), CAF100 (100 mg cafeína, ~1.5 mg/kg MC), CAF200 (200 mg cafeína, ~3 mg/kg MC). Los sujetos también completaron una "4ta prueba" aleatoria (una repetición de una de las tres condiciones) para establecer la repetitividad de la PC y ayudar a complicar la percepción de los sujetos de qué habían recibido, con cuestionarios posteriores a la prueba que confirmaron que fue exitoso el "doble ciego". Los sujetos fueron significativamente más rápidos en la prueba CAF100 (27:36 ± 0:32 min), y aún más rápidos en la prueba CAF200 (26:36 ± 0:22 min) vs. placebo (28:41 ± 0:38 min) (Fig. 2). La confiabilidad del rendimiento en la prueba contrarreloj fue buena en las pruebas "repetidas" (cinco sujetos completaron dos pruebas placebo, cinco completaron dos pruebas CAF100, y cinco completaron dos pruebas CAF200) con tiempos de rendimiento de 27:19 ± 0:30 y 27:30 ± 0:35 min. Los niveles de cafeína en plasma no eran medibles en la prueba placebo, pero alcanzaron 14.9 µmol/L antes (120 min) y 13.8 µmol/L después de la PC en CAF100, y 24.9 y 25.6 µmol/L en los mismos puntos de tiempo en CAF200. Estos resultados demostraron que dosis bajas de cafeína (~1.5 y ~3 mg/kg MC) fueron ergogénicas en una PC en ciclistas bien entrenados cuando la cafeína se ingirió a finales de un entrenamiento de ciclismo de 2 h (Talanian & Spriet, 2016). La dosis de 200 mg de cafeína fue más potente que la de 100 mg, pero no hubo diferencias entre condiciones en las respuestas fisiológicas en los 120 min iniciales de ejercicio submáximo y antes de la PC. Estos resultados sugirieron mecanismos basados en el sistema nervioso para la mejoría en el rendimiento y revelaron que dosis y niveles en plasma muy bajos de cafeína son ergogénicos cuando el atleta está experimentando cierta fatiga.

## ¿CÓMO EJERCEN UN EFECTO ERGOGÉNICO LAS DOSIS BAJAS DE CAFEÍNA?

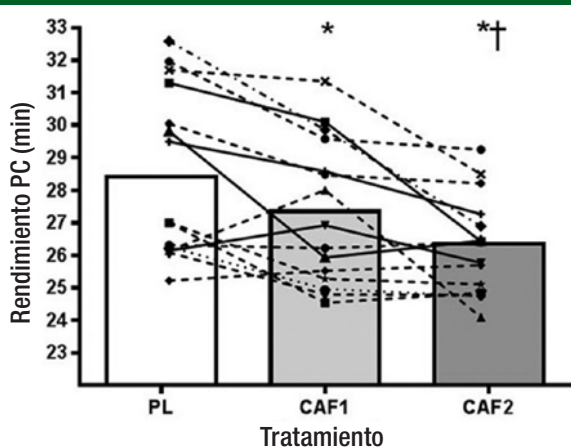
La hipótesis inicial para explicar los efectos ergogénicos de la cafeína durante el ejercicio de resistencia fue metabólica, con la cafeína aumentando los niveles de catecolaminas y la lipólisis del tejido adiposo, y el aumento resultante de AGL circulantes tomados y oxidados por los músculos activos, ahorrando así reservas de glucógeno muscular para uso posterior en el ejercicio, resultando en un tiempo de trabajo hasta el agotamiento prolongado (Costill et al., 1978). Sin embargo, el aumento en el rendimiento de resistencia con bajas dosis de cafeína que no provocan ninguno de estos cambios metabólicos (Graham & Spriet, 1995) sugiere fuertemente que los efectos ergogénicos de la cafeína fueron mediados a través del sistema nervioso central (SNC) y/o periférico (SNP). Los trabajos previos que demostraron el efecto antagonista de la cafeína sobre los receptores de adenosina a través del cuerpo aportan el mecanismo de acción más probable (Fredholm, 1995; Kalmar & Cafarelli, 2004). El soporte más contundente de un papel del SNC continúa siendo el trabajo de Davis y colaboradores (2003), quienes inyectaron tanto agonistas como antagonistas (cafeína) de adenosina directamente dentro de cerebros de roedores (SNC) y demostraron un efecto ergogénico de la cafeína sobre el rendimiento en la carrera. Los mecanismos están relacionados con el antagonismo en los receptores de adenosina por la cafeína, resultando en un aumento en el impulso central en el SNC, así como disminución de la percepción del esfuerzo y dolor en el SNP, ambos contribuyendo a la mejoría en el rendimiento deportivo (Bowtell et al., 2018; Kalmar & Cafarelli, 2004). En humanos, la dificultad de hacer mediciones invasivas en el sistema nervioso hace difícil realizar investigación adicional en esta área.

## FORMAS ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE CAFEÍNA

Por mucho tiempo, la forma tradicional de administración de cafeína en escenarios de investigación y deportivos fue ingerir tabletas/ cápsulas junto con agua o beber café (Hodgson et al., 2013; Clarke et al., 2019). La cafeína se ingiere rápidamente, y la mayoría se absorbe hacia la sangre en el intestino, con la posibilidad de que pequeñas cantidades también se absorban en la mucosa bucal de la cavidad oral. Las bebidas deportivas con cafeína también se han estudiado por muchos años, con la mayoría de los reportes demostrando que la cafeína adicionada a una bebida deportiva tiene un efecto adicional de mejoría en el rendimiento superior al de las SCE solas (ver revisiones, Cureton et al., 2007; Spriet, 2014). La cafeína ahora está disponible en geles, barras, gomas de mascar, tiras bucales solubles, pastillas y bebidas energéticas, los cuales pueden afectar qué tan rápidamente se absorbe la cafeína a la sangre por la mucosa bucal e intestinos. También ha habido interés reciente en el enjuague bucal con cafeína el cual puede activar sensores en la cavidad oral con conexiones directas al cerebro que podrían finalmente afectar el rendimiento deportivo. Finalmente, los investigadores están comenzando a examinar si el suministro de cafeína en aerosoles bucales y nasales puede activar sensores con vínculos neurales en la nariz y/o proporcionar una ruta directa de absorción de cafeína en los pulmones.

La cafeína suministrada en gomas de mascar, barras, geles, tiras bucales y bebidas energéticas puede administrarse efectivamente en dosis hasta de ~200 mg, y más altas con administración repetida. Como puede esperarse, estas formas de suministro se absorben rápidamente dentro de la sangre (Kamimori et al., 2002) y resultan en mejorías en el rendimiento deportivo (Paton et al., 2010; Whalley et al., 2019; Wickham & Spriet, 2018). Los estudios con bebidas energéticas con cafeína generalmente no han examinado los efectos individuales de la cafeína sobre el rendimiento, ya que otros ingredientes documentados (CHO) y potencialmente activos (taurina) están presentes. Sin embargo, cuando una bebida energética con 3 mg/kg MC de cafeína se comparó con una prueba de sólo cafeína (y pareada por consumo de CHO), la mejoría en el rendimiento sobre la prueba placebo fue similar en las pruebas de bebida energética y cafeína (Quinlivan et al., 2015). Esto sugiere fuertemente que los efectos ergogénicos de la bebida energética fueron debidos a la cafeína, sin que los otros ingredientes potenciales aportaran beneficios adicionales.

El enjuague bucal con cafeína puede estimular nervios con vínculos directos al cerebro, además de cualquier absorción de cafeína que ocurra en la boca. Sin embargo, en este momento, aunque se ha demostrado que el enjuague bucal con cafeína mejora esfuerzos repetidos de sprint y pateo de corta duración y alta intensidad en estados de glucógeno muscular normal y agotado (Kizzi et al., 2016; Pak et al., 2020), en la mayoría de la bibliografía se ha reportado que no hay efecto ergogénico sobre el rendimiento en el ejercicio aeróbico (Doering et al., 2014; Wickham & Spriet, 2018). Además, el enjuague bucal con cafeína no mejora el rendimiento cognitivo, aunque hubo



**Figura 2.** Los efectos del consumo de cafeína sobre el tiempo para completar una prueba contrarreloj (PC) de 5 kJ/kg de masa corporal posterior a 120 min de ciclismo submáximo (consumo de cafeína o placebo a los 80 min). Las barras representan datos promedio para cada tratamiento (promedio + DE, n=15). Las líneas representan rendimientos de PC individuales a través de cada tratamiento. CAF1, 100 mg de cafeína; CAF2, 200 mg de cafeína; PL, placebo, \*, significativamente más rápido que PL; † significativamente más rápido que CAF1. (Reproducido de Talanian & Spriet, 2016, con permiso).

soporte para las mejorías en tiempo de reacción, control cognitivo y contrarrestar la fatiga mental (De Pauw et al., 2015; Van Cutsem et al., 2018). Los aerosoles bucales y nasales con cafeína también han obtenido reciente interés, ya que la cafeína puede estimular nervios con conexiones cerebrales directas y entrar a la sangre por medio de la absorción en la mucosa y el pulmón. Sin embargo, hay poco soporte de un efecto ergogénico ya que el suministro y/o efectividad del suministro de cafeína de esta forma puede ser muy pequeña (De Pauw et al., 2017a, b).

## VARIABILIDAD DE LA CAFEÍNA Y LA PREDISPOSICIÓN GENÉTICA

En estudios donde se han publicado respuestas individuales del consumo de cafeína sobre el rendimiento se ha reportado gran variabilidad entre sujetos (Graham & Spriet, 1991; Myers & Cafarelli, 2005). En muchos casos, aunque las respuestas de grupo fueron estadísticamente significativas, algunos participantes no respondieron o respondieron muy poco a la cafeína. Recientemente, ha habido interés en tratar de explicar esta variabilidad al examinar los polimorfismos genéticos relacionados al metabolismo de la cafeína en el hígado y la expresión de receptores de adenosina a través del cuerpo. La enzima hepática, citocromo P450, juega un papel importante en el metabolismo de la cafeína y un único polimorfismo nucleotídico en el gen del intrón 1 del citocromo P450 (CYP1A2) influye en la inducibilidad de esta enzima, de tal forma que la gente con la variante A metaboliza cafeína más rápido y la gente con la variante C tienen tasas más lentas de metabolismo de cafeína. Womack y colaboradores (2012, 2015) examinaron si el polimorfismo específico CYP1A2 influyó en el efecto ergogénico del consumo de cafeína en ciclistas entrenados. Sus resultados, durante una PC de 40 km, sugirieron que los individuos homocigóticos para el alelo A (metabolizadores rápidos) de este polimorfismo tuvieron un efecto ergogénico más grande vs. placebo (71.6 + 4.3 vs. 75.1 + 6.1 min) que los individuos con el alelo C (71.6 + 4.4 vs. 73.1 + 4.5 min) después del consumo de cafeína (Womack et al., 2012, 2015). Guest y colaboradores (2018) extendieron este trabajo y examinaron los efectos ergogénicos de tres dosis de cafeína (2, 4 y 6 mg/kg MC) sobre el rendimiento en una prueba contrarreloj en ciclismo de 10 K en 101 atletas hombres competitivos que fueron clasificados según su genotipo en grupos variantes del gen CYP1A2 en AA, AC, y CC. En el genotipo AA, el tiempo de ejecución mejoró en 6.8% con 4 mg/kg MC y 4.8% con 2 mg/kg MC de cafeína, mientras que el rendimiento de los sujetos de genotipo CC disminuyó en 13.7% con 4 mg/kg MC de cafeína y el grupo AC no fue afectado por la cafeína. Sin embargo, muchos de los atletas en este estudio no estaban familiarizados con el ciclismo como prueba de rendimiento y el número de sujetos en el grupo CC fue muy bajo (n=8). Sin embargo, debe hacerse notar que no todos los estudios han reportado un efecto de este polimorfismo del gen sobre el rendimiento, como lo examinaron Southward y colaboradores, (2018). Se necesita trabajo adicional con una variedad de atletas y pruebas de rendimiento

específicas al deporte, además de mayor número en los grupos CC para determinar de manera concluyente la significancia de la relación entre el metabolismo y los efectos ergogénicos de la cafeína.

También ha habido reciente interés en si los polimorfismos del gen ADORA2A, que codifican para los subtipos A2A del receptor de adenosina, pueden contribuir a la variabilidad en la respuesta ergogénica al consumo de cafeína (Grgic et al., 2020b). Un estudio ha reportado que los efectos ergogénicos de la cafeína estuvieron solo presentes en gente con el genotipo TT y no con el alelo C (Loy et al., 2015). Sin embargo, Grgic y colaboradores (2020b) estudiaron la respuesta de 25 sujetos, que fueron todos portadores del alelo C en ADORA2A (genotipo CC/CT), al consumo de 3 mg/kg MC de cafeína, utilizando un amplio número de pruebas de rendimiento en ejercicio (velocidad de movimiento, producción de potencia y resistencia muscular durante press de banca, salto de altura, prueba de Wingate, etc.). La cafeína fue ergogénica en este grupo en 21/25 de las variables medidas y comparable a los beneficios de reportes previos donde la población no fue específica al genotipo, en contraste directo a los resultados de Loy y colaboradores (2015). Claramente, se necesita más investigación para determinar si los polimorfismos del gen ADORA2A predicen una parte de la variabilidad en la respuesta ergogénica a la cafeína.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

- Al considerar si se debe utilizar cafeína como una ayuda ergogénica potencial, los atletas deben iniciar con dosis bajas de cafeína de ~100-200 mg (~1.5-3 mg/kg MC). Las dosis más altas no parecen otorgar ventajas adicionales.
- Como la respuesta al consumo de cafeína es altamente variable, los atletas necesitan probar el uso de cafeína en entrenamiento antes de pasar a las competencias.
- Los efectos ergogénicos de la cafeína generalmente son independientes del uso de cafeína habitual, nivel de entrenamiento, consumo dietético, género, nivel de hidratación y modalidad de ejercicio, pero los resultados en el calor son menos claros (ver Burke et al., 2013; Spriet, 2014).
- La cafeína puede administrarse en cápsulas, café, bebidas deportivas y energéticas, gomas de mascar, geles, barras y tiras bucales solubles con efectos ergogénicos. El enjuague bucal con cafeína o administración de cafeína en aerosol es menos probable que produzca un efecto ergogénico.
- Aún no está claro si los polimorfismos genéticos pueden explicar la variabilidad interindividual asociada con los efectos ergogénicos de la suplementación con cafeína.

## RESUMEN

En la investigación contemporánea de la cafeína se ha determinado que dosis más bajas de cafeína (<3 mg/kg MC, ~200 mg) son ergogénicas en una amplia variedad de situaciones de ejercicio y



deporte en hombres y mujeres bien entrenados y recreativos. Las dosis más altas están asociadas con alteraciones en las respuestas fisiológicas al ejercicio y efectos secundarios agregados y no otorgan beneficios adicionales. Los mecanismos que explican los efectos ergogénicos de la cafeína parecen resultar del antagonismo del receptor de adenosina en el SNC y SNP. Aunque generalmente se ha utilizado la administración de cafeína en cápsulas, tabletas y café en los estudios de investigación, la cafeína puede proporcionarse en muchas formas alternativas con efectos ergogénicos similares. En trabajos recientes se ha examinado si los polimorfismos en genes que codifican para enzimas metabolizadoras de cafeína y subtipos de receptor de adenosina pueden explicar la variabilidad interindividual a la administración de cafeína, pero se necesita investigación adicional para determinar de manera concluyente si la predisposición genética puede predecir los efectos ergogénicos de la cafeína.

## REFERENCIAS

- Bowtell, J.L., M. Mohr, J. Fulford, S.R. Jackman, G. Ermidis, P. Krstrup, and K.N. Mileva (2018). Improved exercise tolerance with caffeine is associated with modulation of both peripheral and central neural processes in human participants. *Front. Nutr.* 5:6.
- Burke, L.M. (2008). Caffeine and sports performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33:1319–1334.
- Burke, L., B. Desbrow, and L. Spriet (2013). Caffeine for sports performance. Human Kinetics, Champaign, Illinois, USA.
- Chia, J.S., L.A. Barrett, J.Y. Chow, and S.F. Burns (2017). Effects of caffeine supplementation on performance in ball games. *Sports Med.* 47:2453-2471.
- Clarke, N.D., N.A. Kirwan, and D.L. Richardson (2019). Coffee ingestion improves 5 km cycling performance in men and women by a similar magnitude. *Nutrients* 25:11.
- Costill, D.L., G. Dalasky, and W. Fink (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med. Sci. Sports* 10:155-158.
- Cox, G.R., B. Desbrow, P.G. Montgomery, M.E. Anderson, C.R. Bruce, T.A. Macrides, D.T. Martin, A. Moquin, A. Roberts, J.A. Hawley, and L.M. Burke (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 93:990–999.
- Cureton, K.J., G.L. Warren, M.L. Millard-Stafford, J.E. Wingo, J. Trilk, and M. Buyckx (2007). Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 17:35–55.
- Davis, J.M., Z. Zhao, and H.S. Stock (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am. J. Physiol.* 284:R399–R404.
- De Pauw, K., B. Roelands, and K. Knaepen (2015). Effects of caffeine and maltodextrin mouth rinsing on P300, brain imaging, and cognitive performance. *J. Appl. Physiol.* 118:776–782.
- De Pauw, K., B. Roelands, J. Van Cutsem, U. Marusic, T. Torbeyns, and R. Meeusen (2017a). Electro-physiological changes in the brain induced by caffeine or glucose nasal spray. *Psychopharm.* 234:53–62.
- De Pauw, K., B. Roelands, J. Van Cutsem, L. Decroix, A. Valente, K. Taehee, R.B. Lettan, A.E. Carrillo, and R. Meeusen (2017b). Do glucose and caffeine nasal sprays influence exercise or cognitive performance? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12:1186-1191.
- Desbrow, B., C. Biddulph, B. Devlin, G.D. Grant, S.D. Anoopkumar-Dukie, and M.D. Leveritt (2012). The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. *J. Sports Sci.* 30:115-120.
- Doering, T.M., J.W. Fell, M.D. Leveritt, B. Desbrow, and C.M. Shing (2014). The effect of a caffeinated-mouth-rinse on endurance cycling time-trial performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 24:90–97.
- Fredholm, B.B. (1995). Adenosine, adenosine receptors and the actions of caffeine. *Pharmacol. Toxicol.* 76:93–101.
- Gallo-Salazar, C., F. Areces, J. Abian-Vicen, B. Lara, C. Gonzalez-Millan, J. Portillo, V. Munoz, D. Juarez, and J. Del Coso (2015). Enhancing physical performance in elite junior tennis players with a caffeinated energy drink. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10:305-310.
- Graham, T.E., and L.L. Spriet (1991). Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 71:2292–2298.
- Graham, T.E., and L.L. Spriet (1995). Metabolic, catecholamine and exercise performance responses to varying doses of caffeine. *J. Appl. Physiol.* 78:767-774.
- Grgic, J., F. Sabol, S. Venier, I. Mikulic, N. Bratkovoc, B.J. Schoenfeld, C. Pickering, D.J. Bishop, Z. Pedisic, and P. Mikulic (2020a). What dose of caffeine to use: Acute effects of 3 doses of caffeine on muscle endurance and strength. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15:470-477.
- Grgic, J., C. Pickering, D.J. Bishop, J. Del Coso, B.J. Schoenfeld, G.M. Tinsley, and Z. Pedisic (2020b). ADOR2A C allele carriers exhibit ergogenic responses to caffeine supplementation. *Nutrients* 11:12.
- Guest, N., P. Corey, J. Vescovi, and A. El-Soheimi (2018). Caffeine, CYP1A2 genotype, and endurance performance in athletes. *Med. Sci. Sport Exerc.* 50:1570–1578.
- Hodgson, A.B., R.K. Randell, and A.E. Jeukendrup (2013). The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS One* 8:e59561.
- Ivy, J.L., D.L. Costill, W.J. Fink, and R.W. Lower (1979). Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports* 11:6-11.
- Kalmar, J.M., and E. Cafarelli (2004). Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans. *Exerc. Sports Sci, Rev.* 32:143–147.
- Kamimori, G.H., C.S. Karyekar, R. Otterstetter, D.S. Cox, T.J. Balkin, G.L. Belenky, and E.D. Eddington. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *Int. J. Pharm.* 234:159–167.
- Kizzi J., A. Sum, F.E. Houston, and L.D. Hayes (2016). Influence of a caffeine mouth rinse on sprint cycling following glycogen depletion. *Eur. J. Sport Sci.* 16:1087–1094.
- Lane, S.C., J.A. Hawley, B. Desbrow, A.M. Jones, J.R. Blackwell, M.L. Ross, A.J. Zernski, and L.M. Burke (2014). Single and combined effects of beetroot juice and caffeine supplementation on cycling time trial performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 39:1050-1057.
- Lara, B., D. Ruiz-Vicente, F. Areces, J. Abian-Vicen, J.J. Salinero, C. Gonzalez-Millan, C. Gallo-Salazar, and J. Del Coso (2015). Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *Br. J. Nutr.* 114:908-914.
- Loy, B.D. P.J. O'Connor, J.B. Lindheimer, and S.F. Covert (2015). Caffeine is ergogenic for adenosine A2A receptor gene (ADORA2A) T allele homozygotes: A pilot study. *J. Caff. Res.* 5:73–81.
- Madden, R.F., K.A. Erdman, J. Shearer, L.L. Spriet, R. Ferber, A.T. Kolstad, J.L. Bigg, A.S.D. Gamble, and L.C. Benson (2019). Effects of low dose caffeine supplementation on measures of exertion, skill performance and physicality in ice hockey. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 14:1422-1429.
- Meyers, B.M., and E. Cafarelli (2005) Caffeine increases time to fatigue by maintaining force and not by altering firing rates during submaximal isometric contractions. *J. Appl. Physiol.* 99:1056-1063.
- Pak, I.E., M. Cug, S.L. Volpe, and C.M. Beaven (2020). The effect of carbohydrate and caffeine mouth rinse on kicking performance in competitive Taekwondo athletes during Ramadan. *J. Sports Sci.* 38:795-780.
- Pasman, W.J., M.A. VanBaak, A.E. Jeukendrup, and A. DeHaan (1995). The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *Int. J. Sports Med.* 16:225–230.
- Paton, C.D., T. Lowe, and A. Irvine (2010). Caffeinated chewing gum increases repeated sprint performance and augments increases in testosterone in competitive cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110:1243-1250.
- Pitchford, N.W., J.W. Fell, M.D. Leveritt, B. Desbrow, and C.M. Shing (2014). Effect of caffeine on cycling time-trial performance in the heat. *J. Sci. Med. Sport.* 17:445-449.
- Pickering, C., and J. Grgic (2019). Caffeine and exercise: What next? *Sports Med.* 49:1007-1030.
- Rivers, W.H., and H.N. Webber (1907). The action of caffeine on the capacity for muscular work. *J. Physiol.* 36:33-47.
- Quinlivan, A., C. Irwin, G.D. Grant, S. Anoopkumar-Dukie, T. Skinner, M. Leveritt, and B. Desbrow (2015). The effects of Red Bull energy drink compared with caffeine on cycling time-trial performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10:897-901.
- Salinero, J.J., B. Lara, and J. Del Coso (2019). Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: a systematic review and meta-analysis. *Res. Sports Med.* 27:238-256.

- Skinner, T.L., B. Desbrow, J. Arapova, M.A. Schaumberg, J. Osborne, G.D. Grant, S. Anoopkumar- Dukie, and M.D. Leveritt (2019). Women experience the same ergogenic response to caffeine as men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51:1195-1202.
- Southward, K., K. Rutherford-Markwick, C. Badenhorst, and A. Ali (2018). The role of genetics in moderating the inter-individual differences in the ergogenicity of caffeine. *Nutr.* 12:741.
- Spriet, L.L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med.* 44:S175-S184.
- Stevenson, E.J., P.R. Hayes, and S.J. Allison (2009). The effect of a carbohydrate-caffeine sports drink on simulated golf performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34:681-688.
- Talanian, J.L., and L.L. Spriet (2016). Low and moderate doses of caffeine late in exercise improve performance in trained cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41:850-855.
- Van Cutsem, J., K. De Pauw, S. Marcora, R. Meeusen, and B. Roelands (2018). A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. *Psychopharm.* 235:947-958.
- Whalley, P.J., C.G. Dearing, and C.D. Paton (2019). The effects of different forms of caffeine supplement on 5-km running performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15:390-394.
- Wickham, K.A., and L.L. Spriet (2018). Administration of caffeine in alternate forms. *Sports Med* 48:S79-S91.
- Womack, C.J., M.J. Saunders, M.K. Bechtel, D.J. Bolton, M. Martin, N.D. Luden, W. Dunham, and M. Hancock (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 9:7.
- Womack, C.J., M.J. Saunders, M.K. Bechtel, D.J. Bolton, M. Martin, N.D. Luden, W. Dunham, and M. Hancock (2015). Erratum to: The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 12:24.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Spriet, L. (2020). Caffeine and exercise performance: An update. *Sports Science Exchange* Vol. 29, No. 203, 1-5, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.