



CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO

Terry E. Graham, Ph.D. | Departamento de Biología Humana y Ciencias de la Nutrición | Universidad de Guelph | Guelph | Ontario | Canadá

Lawrence L. Spriet, Ph.D. | Miembro del Consejo de Medicina del Deporte GSSI | Departamento de Biología Humana y Ciencias de la Nutrición | Universidad de Guelph | Guelph | Ontario | Canadá

PUNTOS CLAVE

- Estudios recientes bien controlados han establecido que dosis moderadas de cafeína consumidas 1 h antes del ejercicio mejoran el rendimiento de cierto tipo de ejercicios de resistencia en el laboratorio. Las dosis moderadas de cafeína producen niveles urinarios de cafeína muy por debajo del límite permitido, según lo que determina el Comité Olímpico Internacional. Los resultados son específicamente para deportistas élite bien entrenados o atletas recreativos. No se sabe si estos resultados mejorarán el rendimiento en las competencias debido a que son escasos los estudios de los efectos de la cafeína en pruebas de campo controladas.
- Los mecanismos responsables de la mejoría en el ejercicio de resistencia prolongado siguen siendo imprecisos. Un mecanismo metabólico parece contribuir al inicio del ejercicio, cuando el consumo de cafeína aumenta las concentraciones de ácidos grasos libres en plasma y el uso de los triglicéridos intramusculares, y ahorra glucógeno muscular. Sin embargo, no es claro si el incremento de la oxidación de grasa provoca un ahorro del glucógeno muscular. El aumento en las concentraciones de epinefrina en plasma normalmente ocurre después de la ingestión de cafeína, pero no son esenciales para los cambios metabólicos que lo acompañan. Cuando se estudian los efectos de la cafeína en el ser humano, es difícil identificar la fuente primaria del “estímulo” porque la cafeína suele aumentar la secreción de epinefrina y en el hígado también se metaboliza rápidamente a tres dimetilxantinas (paraxantina, teofilina y teobromina). Las dimetilxantinas pueden permanecer en la circulación por más tiempo que la cafeína y pueden enviar sus propias señales metabólicas.
- La cafeína parece mejorar el rendimiento durante el ciclismo de corta duración y alta intensidad a lo largo de ~5 min en el laboratorio y en el tiempo de una carrera simulada de 1500 m. Sin embargo, los efectos ergogénicos positivos de la cafeína son mucho menos frecuentes durante ejercicios de sprint que duran menos de 90 s y en pruebas de ejercicio con incremento gradual con una duración de 8-20 min.
- Los mecanismos potenciales para mejorar el rendimiento durante el ejercicio intenso de 5-20 min incluyen efectos directos de la cafeína sobre el sistema nervioso central y/o en el acoplamiento de excitación-relajación y el aumento del suministro de energía anaeróbica en el músculo esquelético.

INTRODUCCIÓN

La cafeína es una “droga controlada o restringida” en el mundo del deporte porque los niveles en orina por arriba de 12µg/mL después de las competencias son considerados ilegales según el Comité Olímpico Internacional (COI). No obstante, la mayoría de los atletas que consumen bebidas con cafeína antes del ejercicio nunca se acercarán al límite ilegal después de una competencia. Por lo tanto, la cafeína ocupa una posición única en el mundo deportivo. Es una parte esencial de la dieta de muchos atletas a pesar de que no tiene un valor nutricional y también tiene el potencial para ser una ayuda ergogénica “legal” en muchas situaciones deportivas. A pesar de ser común que se equipare a la cafeína con el café, se debe señalar que es raro que el café sea el medio de administración en los estudios de investigación. Es por esto que puede ser engañoso comparar los dos porque el café contiene cientos de productos químicos adicionales.

En un artículo de Sport Science Exchange de 1990, Wilcox concluyó que pocos estudios bien controlados han examinado los efectos de la cafeína sobre el rendimiento de resistencia y que los resultados han sido inconsistentes. Desde 1990, aumentó la investigación que examina el efecto de la cafeína durante ejercicios de resistencia y se demostró el efecto ergogénico de la cafeína durante ejercicios de resistencia prolongados (Graham y Spriet, 1991, 1995; Pasman et al., 1995). Además, han aparecido estudios que analizan los efectos de la cafeína sobre el rendimiento en el ejercicio durante sprints (<90 s), ejercicio intenso de corta (~5 min) y larga (~20 min) duración (Collomp et al., 1990, 1991; Jackman et al., 1996; MacIntosh y Wright, 1995).

Ha habido una mejoría general de la calidad de las investigaciones porque los investigadores han intentado controlar varios factores que pueden confundir los resultados de la cafeína. Conlee resumió estos factores en un artículo de revisión de 1991. Hay tres factores que se relacionan con la naturaleza del diseño experimental, estos son la modalidad del ejercicio, la producción de potencia y la dosis de cafeína; mientras que otros cuatro se relacionan con el estado del sujeto antes del experimento, como el estado de nutrición, nivel de entrenamiento, consumo previo de cafeína y variabilidad individual. Un factor adicional es la capacidad de medir el rendimiento en el ejercicio de una manera más confiable. Esta confiabilidad es mayor en sujetos muy entrenados que en los menos entrenados.

La cafeína parece ser tomada por todos los tejidos del cuerpo, lo que hace difícil estudiar de forma independiente los efectos de la cafeína en el sistema nervioso central, los músculos y el tejido adiposo en el ser humano activo. También es evidente que diferentes mecanismos son probablemente responsables de la mejoría en el rendimiento en diferentes tipos de ejercicio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el(los) mecanismo(s) puede(n) no ser del todo debido a la cafeína. Por ejemplo, generalmente el consumo de cafeína aumenta la concentración plasmática de epinefrina, una hormona que tiene efectos generalizados, y el hígado metaboliza rápidamente a la cafeína, una trimetilxantina, en tres dimetilxantinas (paraxantina, teofilina y teobromina). Las concentraciones de estos metabolitos aumentan en el plasma mientras que disminuye la concentración de cafeína, y especialmente la paraxantina y la teofilina son

estímulos metabólicos potenciales. Por lo tanto, es difícil resolver cuáles tejidos son afectados directa o indirectamente por cuál componente. Debido a esta incertidumbre, cuando se utilice el término “cafeína” en este reporte, el lector debe tener en cuenta que podría ser cualquiera de las metilxantinas.

TEORÍAS DE ERGOGENICIDAD

Hay tres teorías principales del efecto ergogénico de la cafeína durante el ejercicio. La primera teoría sugiere un efecto directo sobre alguna porción del sistema nervioso central que afecta la percepción de esfuerzo y/o la activación neural de la contracción muscular. La segunda teoría propone un efecto directo de la cafeína sobre el rendimiento del músculo esquelético. Este puede involucrar el transporte de iones (incluyendo el transporte de Ca^{2+}) y los efectos directos sobre las enzimas reguladoras clave, incluyendo las que controlan la degradación del glucógeno. El soporte para estas sugerencias se deriva en gran parte de las investigaciones in vitro, donde se utilizan altas concentraciones farmacológicas de cafeína para demostrar los efectos. Si estos resultados de “tubo de ensayo” tienen alguna relevancia durante el ejercicio, los candidatos más probables para contribuir con un efecto ergogénico de la cafeína son los cambios en la actividad del calcio y en la habilidad del músculo para bombear potasio desde el líquido extracelular hacia el interior de las fibras musculares; los niveles de cafeína durante el ejercicio son similares a las concentraciones más bajas de cafeína utilizadas in vitro que pueden afectar estos procesos.

La tercera teoría es la explicación clásica o “metabólica” que involucra un aumento en la oxidación de lípidos y una reducción en la oxidación de carbohidratos. En este esquema, la cafeína aumenta directamente la actividad de las enzimas que descomponen a las grasas en ácidos grasos o que la cafeína aumenta los niveles circulantes de epinefrina (EPI), que a su vez moviliza los ácidos grasos libres de los depósitos de triglicéridos (TG) en el tejido adiposo o muscular. El aumento en la disponibilidad de ácidos grasos aumenta la oxidación de grasas musculares y reduce la oxidación de carbohidratos, lo que mejora el rendimiento en ejercicios que se vuelven exhaustivos cuando se alcanzan niveles bajos de las reservas de carbohidratos.

Las siguientes secciones tratan el potencial ergogénico de la cafeína durante diferentes tipos de ejercicios que son clasificados de acuerdo a la producción de potencia y el tiempo hasta el agotamiento o el tiempo en completar una carrera.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO DE RESISTENCIA

El interés por la cafeína como una ayuda ergogénica en el ejercicio de resistencia se estimuló inicialmente por el trabajo de laboratorio de Costill. Ellos examinaron el efecto del consumo de 330 mg de cafeína 1 h antes de ejercicio en bicicleta hasta el agotamiento a 80% del consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_2\text{máx}$) (Costill et al., 1978). Los ciclistas entrenados mejoraron su rendimiento de 75 min en condición de placebo a 96 min después del consumo de cafeína. Un segundo estudio demostró que un consumo de 250 mg de cafeína se asoció con un aumento del 20% en la cantidad de trabajo realizado en 2 h (Ivy et al., 1979). Estos estudios sugirieron que la utilización de grasa como energía aumentó en ~30% en las pruebas con cafeína. En un tercer estudio se evaluó el metabolismo muscular en el ejercicio y se reportó

que el consumo de 5 mg de cafeína/kg de peso corporal ayudó a ahorrar glucógeno muscular y aumentó el uso de TG de los músculos (Essig et al., 1980). En la década de los 80's, pocas investigaciones probaron los efectos ergogénicos de la cafeína durante el ejercicio de resistencia; la mayoría sólo examinó cómo se afectaba el metabolismo por la cafeína. Además, las conclusiones con respecto a los efectos metabólicos de la cafeína estaban generalmente basados en indicadores indirectos del metabolismo de las grasas, es decir, los aumentos en los ácidos grasos libres (AGL) plasmáticos y/o la disminución en el ratio de producción de dióxido de carbono entre el consumo de oxígeno (tales disminuciones indican que se está utilizando más grasa como energía). Este trabajo ha sido revisado recientemente (Graham et al., 1994; Spriet, 1995; Tarnopolsky, 1994; Wilcox, 1990).

ESTUDIOS RECIENTES DE LOS EFECTOS DE LA CAFEÍNA SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO DE RESISTENCIA Y EL METABOLISMO

Varios estudios recientes han evaluado cuidadosamente los efectos de la cafeína sobre el rendimiento y el metabolismo en atletas bien entrenados que están acostumbrados a un ejercicio exhaustivo y condiciones de carrera. La mayoría de los factores de confusión estuvieron bien controlados, y se eligieron evaluaciones del rendimiento para simular condiciones de competencia. Los estudios examinaron los efectos de una dosis de cafeína de 9 mg/kg de masa corporal sobre los tiempos hasta el agotamiento en carrera y ciclismo al 80-85% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Graham y Spriet, 1991; Spriet et al., 1992), los efectos de diferentes dosis de cafeína (3-13 mg/kg) sobre el rendimiento en ciclismo (Graham y Spriet, 1995; Pisman et al., 1995) y los efectos de una dosis moderada de cafeína (5 mg/kg) sobre el rendimiento de series repetidas de 30 min en bicicleta (5 min de descanso entre las series) a 85-90% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Trice y Haymes, 1995).

En conjunto, este trabajo generó varios hallazgos importantes. El rendimiento en el ejercicio de resistencia mejoró ~20-50% en comparación con la prueba con placebo después del consumo de varias dosis de cafeína (3-13 mg/kg) en atletas entrenados de élite y recreativos quienes corrieron o pedalearon a ~80-90% del $\text{VO}_2\text{máx}$. Sin excepción, las dosis de 3, 5 y 6 mg/kg produjeron un efecto ergogénico teniendo niveles urinarios de cafeína por debajo del límite aceptado por el IOC. Tres de cuatro experimentos que utilizaron dosis de 9 mg/kg reportaron aumentos en el rendimiento, mientras que 6/22 de los atletas evaluados en estos estudios tenían niveles urinarios de cafeína en o por encima de $12\mu\text{g/mL}$. El rendimiento mejoró con una dosis de 13 mg/kg, pero 6/9 atletas presentaron niveles urinarios muy por arriba de $12\mu\text{g/mL}$. Los efectos secundarios del consumo de cafeína (mareos, dolor de cabeza, insomnio y malestar gastrointestinal) fueron poco frecuentes con dosis de o por debajo de 6 mg/kg, pero prevalentes con dosis más altas (9-13 mg/kg). Tales efectos secundarios se asociaron con una disminución del rendimiento en algunos atletas a 9 mg/kg.

La cafeína produce generalmente el doble de aumento de EPI en plasma venoso en reposo y durante el ejercicio y de AGL en plasma venoso en reposo. La elevación de los AGL con cafeína ya no fue más evidente dentro de los 15-20 min de ejercicio. A la dosis más baja de cafeína (3 mg/kg), el rendimiento se incrementó sin aumentos

significativos en EPI y AGL en plasma venoso. La utilización del glucógeno muscular se redujo después del consumo de cafeína, pero el "ahorro" fue limitado a los primeros 15 min de ejercicio a ~80% del VO₂máx.

Hay poca información sobre los resultados y los efectos metabólicos de la cafeína en sujetos activos recreativamente o en sujetos no entrenados porque es difícil medir con precisión el rendimiento en estos grupos. Chesley y colaboradores (1994) reportaron una respuesta variable de ahorro de glucógeno a una alta dosis de cafeína (9 mg/kg) en hombres no entrenados. Sólo 4/8 sujetos demostraron una ahorro de glucógeno pedaleando durante 15 min a 80-85% VO₂máx. Estos resultados sugieren que las respuestas metabólicas al consumo de cafeína en sujetos no entrenados son más variables que en poblaciones aeróbicamente entrenadas.

Actualmente hubo un informe preliminar (Graham et al., 1995) que comparó los efectos de la cafeína (4.5 mg/kg) en forma de tableta "pura" con la misma cantidad de cafeína en una bebida de café (2 tazas de café fuerte ingeridos en 10 min). La cafeína en forma de tabletas resultó tener los efectos usuales en el metabolismo y rendimiento, pero cuando se consumió como bebida hubo menos respuesta de la epinefrina plasmática y poco o ningún efecto sobre el rendimiento, a pesar de que las concentraciones de cafeína en plasma fueron idénticas. Es de suponer que la amplia variedad de compuestos en el café negaron el beneficio ergogénico habitual.

MECANISMOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA

Parece probable que un mecanismo metabólico de la cafeína es parte de la explicación de la mejoría en la resistencia, excepto en las dosis bajas de cafeína para las cuáles esta hipótesis no ha sido completamente examinada. El aumento de los AGL al inicio del ejercicio, el ahorro de glucógeno en los primeros 15 min y el reporte del aumento en el uso de TG intramuscular durante los primeros 30 min de ejercicio sugieren un papel más importante del metabolismo de grasas al comenzar el ejercicio después de dosis de cafeína de 5 mg/kg y superiores. Sin embargo, estos hallazgos metabólicos no excluyen otros factores que contribuyen a mejorar el rendimiento en el ejercicio de resistencia. Por ejemplo, la cafeína parece estimular el transporte de potasio en los tejidos inactivos, lo que conduce a una atenuación del aumento de la concentración de potasio en plasma durante el ejercicio. Se ha postulado que un potasio plasmático más bajo ayuda a mantener la excitabilidad de las membranas celulares en los músculos contráctiles y contribuye a los efectos ergogénicos de la cafeína durante el ejercicio de resistencia (Lindinger et al., 1993).

También vale la pena mencionar que la EPI no parece jugar un papel importante en los cambios metabólicos que se producen con el consumo de cafeína. Se mejoró el rendimiento con una dosis de cafeína de 3 mg/kg sin aumentos significativos de EPI y AGL en plasma durante el ejercicio. Además, una infusión de EPI que fue diseñada para producir concentraciones similares de EPI en el ejercicio a las inducidas por la cafeína no tuvo efecto sobre los AGL en plasma o en la tasa de degradación de glucógeno (Chesley et al., 1995). Asimismo, Van Soeren y colaboradores (1996) dieron cafeína a sujetos lesionados de la médula espinal y reportaron un aumento de los AGL en plasma sin cambios en

EPI. Por lo tanto, las alteraciones conocidas en el metabolismo muscular por sí solo, no pueden explicar actualmente el efecto ergogénico de la cafeína durante ejercicios de resistencia en todas las situaciones.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN PRUEBAS GRADUALES DE EJERCICIO

Varios estudios reportaron que no hubo efecto en el consumo de dosis moderadas de cafeína en el tiempo hasta el agotamiento y el VO₂máx durante protocolos de ejercicios graduales con una duración de 8-20 min (véase en Dodd et al., 1993). Sin embargo, dos estudios realizados en el mismo laboratorio reportaron tiempos prolongados de ejercicio cuando se dieron dosis altas de cafeína (Flinn et al., 1990; McNaughton, 1987). El primer estudio usó dosis de cafeína de 10 a 15 mg/kg y reportó un aumento pequeño pero significativo en el rendimiento. No obstante, la prueba control siempre precedió a las pruebas con cafeína, llevando a la posibilidad de un efecto de orden. El segundo estudio utilizó una dosis de cafeína de 10 mg/kg 3 h antes de un ejercicio de ciclismo y reportó un incremento en el tiempo hasta el agotamiento. Los sujetos completaron las pruebas control, de placebo y cafeína con la prueba de control siempre en primer lugar; y las dos pruebas restantes al azar. Parece que la alta dosis de cafeína es el factor más probable que separa estos hallazgos positivos de los estudios que no reportan efectos. Desafortunadamente, actualmente no hay información del mecanismo que existe para explicar los efectos ergogénicos.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN EJERCICIOS AERÓBICOS INTENSOS

Las carreras competitivas que duran ~20 min requieren que los atletas hagan ejercicio con producción de potencia igual o superior a 90% del VO₂máx. Recientemente, MacIntosh y Wright (1995) examinaron el efecto de 6 mg de cafeína/kg sobre el rendimiento de pruebas de natación de 1500 m en nadadores de distancia entrenados. La cafeína redujo significativamente el tiempo de la prueba de nado 21:22 a 20:59 (min:s). Los autores reportaron niveles plasmáticos de potasio más bajos antes del ejercicio y concentraciones más altas de glucosa sanguínea después del ejercicio con cafeína y sugirieron que el equilibrio electrolítico y la disponibilidad de glucosa podrían estar relacionados con los efectos ergogénicos de la cafeína.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN EJERCICIO INTENSO DE CORTA DURACIÓN

Ha habido un interés reciente en los efectos que tiene la cafeína sobre el rendimiento durante el ejercicio intenso de corta duración (~100% VO₂máx) con duración ~5 min; se requiere un suministro cercano al máximo de fuentes de energía tanto aeróbicas como anaeróbicas para dichas actividades.

Collomp y colaboradores (1991) reportaron que 250 mg de cafeína incrementaron el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de ciclismo al 100% del VO₂máx de 05:20 con placebo a 5:49, aunque el aumento no fue significativo. En una tercera prueba, en la cual los sujetos recibieron 250 mg de cafeína al día durante 5 días, también aumentó el tiempo hasta el agotamiento de forma no significativa (5:40). Wiles y colaboradores (1992) reportaron que bebiendo café con un contenido aproximado de 150-200 mg de cafeína mejoró

el tiempo de 1500 m en banda en corredores bien entrenados por 4.2 s comparado con el placebo (4:46.0 vs. 4:50.2). En un segundo protocolo los sujetos bebieron café o un placebo, corrieron 1100 m a un ritmo predeterminado y después corrieron 400 m lo más rápido posible. La velocidad promedio de los últimos 400 m fue de 23.5 km/h con el café y de 22.9 km/h sin él. Tras el consumo de café, los sujetos corrieron más rápido y el VO₂ promedio durante los 400 m finales, también fue mayor.

En un estudio reciente, Jackman y colaboradores (1996) evaluaron los efectos del consumo de cafeína (6 mg/kg) sobre el rendimiento y las respuestas metabólicas en series repetidas de ciclismo al 100% del VO₂máx en 14 sujetos. Se realizaron 3 series de ejercicio con periodos intermedios de descanso de 6 min cada uno. Las primeras dos series de ciclismo con una producción de potencia controlada durante 2 min y la tercera continuó hasta el agotamiento. El tiempo de pedaleo hasta el agotamiento mejoró con la cafeína (4.93 ± 0.60 min vs. placebo 4.12 ± 0.36 min). Las mediciones de lactato en músculo y sangre durante el protocolo sugirió una mayor producción de lactato en la prueba de cafeína, aún en las dos sesiones iniciales cuando se controló la producción de potencia. La tasa neta de la degradación de glucógeno no fue diferente durante las dos sesiones iniciales, y se utilizó menos del 50% de la reserva del glucógeno muscular en las pruebas durante el protocolo. Los autores concluyeron que el efecto ergogénico de la cafeína durante el ejercicio intenso de corta duración no se asoció con el ahorro de glucógeno y pudo ser causado ya sea por una acción directa sobre el músculo o por una alteración en la función del sistema nervioso central.

En conclusión, no se conocen los mecanismos que contribuyen a la mejoría del rendimiento en el ejercicio intenso de corta duración, pero pueden incluir una mejoría en la provisión de energía de tipo anaeróbica, efectos directos de la cafeína en el transporte de iones en los músculos y efectos del sistema nervioso central en la sensación de esfuerzo y/o activación de la contracción muscular en las fibras musculares apropiadas.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO EN SPRINT

El rendimiento en el sprint se define como ejercicio fatigante a una producción de potencia 1.5 a 3 veces mayor que la requerida para obtener el VO₂máx o esfuerzos máximos en eventos deportivos que duran menos de 90 s. La cantidad de energía derivada de los procesos anaeróbicos sería ~75-80% del total en los primeros 30 s, ~65-70% sobre 60 s y ~55-60% más de 90 s.

Williams y colaboradores (1988) informaron que el consumo de cafeína no tuvo efecto sobre la producción de potencia máxima o resistencia muscular durante series cortas y máximas de ciclismo. Collomp y colaboradores (1992) encontraron que el consumo de cafeína en una dosis de 5 mg/kg no aumentó la potencia pico o el trabajo total completado en seis sujetos que realizaron una prueba de Wingate de 30 s. Sin embargo, el mismo grupo reportó después que 250 mg de cafeína produjeron una mejoría significativa de 7% en la potencia máxima que podría generarse durante una serie de sprints de 6 s a diferentes relaciones fuerza-velocidad (Anselme et al., 1992). Los mismos autores también examinaron los efectos de 250 mg de cafeína en dos nados de

estilo libre de 100 m que estuvieron separados por 20 min (Collomp et al., 1990). En nadadores bien entrenados, la velocidad durante el primer y segundo nado mejoró en un 2% y 4% respectivamente, pero no se dieron los tiempos de rendimiento.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la información actual, no es posible concluir si la cafeína tiene o no un efecto ergogénico sobre el rendimiento en sprint. La naturaleza breve e intensa del ejercicio de sprint hace que sea muy difícil estudiar y demostrar los efectos significativos de la cafeína.

ESTUDIOS DE CAMPO

El rendimiento en ejercicio de resistencia en la mayoría de los estudios de laboratorio se mide como el tiempo necesario para alcanzar el agotamiento a una producción de potencia establecida. Sin embargo, en el campo, el rendimiento se mide como el tiempo necesario para completar cierta distancia. En consecuencia, las extrapolaciones desde el laboratorio a los escenarios en campo puede no ser válido. En ocasiones, los estudios de laboratorio simulan las condiciones de carrera permitiendo que el sujeto controle la velocidad en banda o la cadencia y la resistencia en un cicloergómetro con el fin de completar una distancia o una determinada cantidad de trabajo en el menor tiempo posible. Otros estudios han medido el rendimiento en pista o en la piscina no en condiciones reales de carrera, sino en pruebas contrarreloj. No obstante, estos estudios todavía no simulan completamente competencias reales.

En estudios de campo que simulan condiciones de carrera, con frecuencia es imposible emplear los controles necesarios para generar resultados concluyentes. Por ejemplo, Berglund y Hemmingsson (5) realizaron el único estudio de campo que examinó los efectos del consumo de cafeína sobre el rendimiento durante el ejercicio de resistencia. El rendimiento de una carrera de esquí de fondo que duró 1-1.5 h, mejoró por 1-2.5 min en comparación con una condición control. Curiosamente, esta mejoría se produjo durante una carrera a gran altitud pero no al nivel del mar. Desafortunadamente, las condiciones climatológicas y la nieve fueron variables en ambos lugares, requiriendo "normalización" matemática de los tiempos de rendimiento con el fin de hacer comparaciones. Estos problemas plantean interrogantes sobre la validez de los resultados e indican lo difícil que es llevar a cabo pruebas de campo significativas y bien controladas. Existe una enorme necesidad por generar más estudios de campo que evalúen la cafeína y el rendimiento en el ejercicio de resistencia.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DEL CONSUMO DE CAFEÍNA

Dosis de cafeína

La cafeína es una "sustancia controlada o restringida" con respecto al COI. Se permite que los atletas tengan hasta 12µg de cafeína/mL en orina antes de que se considere ilegal. Esto permite que los atletas que normalmente consumen cafeína en sus dietas continúen esta práctica antes de una competencia. Un atleta puede consumir una gran cantidad de cafeína antes de llegar al "límite ilegal". Una persona de 70 kg podría tomar aproximadamente tres o cuatro tarros o seis tazas de tamaño regular de café percolado ~ 1 h antes del ejercicio, ejercitarse por 1-1.5 h y posteriormente producir una muestra de orina que sólo se aproxime al límite urinario de cafeína. No es fácil alcanzar el límite consumiendo

café. Un nivel de cafeína por encima de 12µg/mL sugiere que un individuo ha tomado cafeína deliberadamente en forma de tabletas o supositorios en un intento por mejorar el rendimiento. No es sorprendente que sólo unos pocos atletas han sido sorprendidos con niveles ilegales de cafeína durante las competencias, aunque los reportes oficiales de la frecuencia en el abuso de la cafeína son raros. Un estudio más antiguo reportó que 26/775 ciclistas tenían niveles urinarios ilegales de cafeína cuando se evaluaron después de la competencia (Delbecke y Debachere, 1984).

Cafeína en orina y dopaje

El uso de los niveles de cafeína en orina para determinar el abuso de cafeína en el deporte ha sido muy criticado. Sólo 0.5-3% de la cafeína ingerida oralmente llega realmente a la orina porque la mayoría se metaboliza en el hígado. Los subproductos de la cafeína que se excretan no se miden en las pruebas de dopaje. Otros factores también afectan la cantidad de cafeína que llega a la orina, incluyendo el peso corporal, género y el estado de hidratación del deportista. El tiempo transcurrido entre la ingesta de cafeína y la colección de muestras de orina es importante y se verá afectada por la duración del ejercicio y las condiciones ambientales. Los órganos gubernamentales del deporte pueden no considerar estas preocupaciones como un problema ya que la mayoría de las personas que son capturadas con niveles ilegales de cafeína habrán utilizado la sustancia en forma de dopaje. Sin embargo, es posible que alguien que metaboliza la cafeína lentamente o que excreta el 3% de la dosis ingerida en lugar del 0.5% podría producir cantidades ilegales (de acuerdo con el COI) de cafeína urinaria tras el consumo de una dosis moderada de cafeína.

Variabilidad en la respuesta de la cafeína

La variabilidad en la mayoría de las respuestas metabólicas y de rendimiento a la cafeína es grande. Esto parece ser cierto para todos los grupos estudiados, incluyendo los que habitualmente ingieren cantidades grandes y pequeñas de cafeína, los usuarios que se han retirado de la cafeína y los que no la utilizan. La variabilidad en el ahorro del glucógeno muscular tras el consumo de cafeína es mayor en las muestras de hombres no entrenados que en los hombres entrenados (Chesley et al., 1994; Spriet et al., 1992). Pocas mujeres han sido estudiadas para determinar si la variabilidad en la respuesta al consumo de cafeína es similar a la de los hombres. El estado menstrual necesita controlarse en estos estudios ya que el estrógeno puede afectar la vida media de la cafeína. Por lo tanto, aunque los resultados promedio en un grupo de atletas pueden predecir una mejoría en el rendimiento atlético, es imposible predecir de forma confiable que el rendimiento de un individuo dado pueda mejorar.

Consumo habitual de cafeína

Como han revisado Graham y colaboradores (1994), varios estudios recientes sugieren que el uso crónico de cafeína disminuye la respuesta de EPI al ejercicio y a la cafeína, pero no afecta marcadores indirectos del metabolismo de las grasas durante el ejercicio (Bangsbo et al., 1992; Van Soeren et al., 1993). No obstante, estos cambios no parecen disminuir el efecto ergogénico de 9 mg/kg de cafeína. En dos estudios en los que se examinaron usuarios y no usuarios de cafeína, el rendimiento en el ejercicio de resistencia aumentó en todos los sujetos; los usuarios se abstuvieron de cafeína durante 48-72 h

antes de los experimentos (Graham y Spriet, 1991; Spriet et al., 1992). Sin embargo, los resultados en el rendimiento fueron más variables en un estudio posterior con más no usuarios (Graham y Spriet, 1995). Además, Van Soeren et al. (1993) informó recientemente que la abstinencia de cafeína hasta 4 días antes, no afecta los cambios inducidos por el ejercicio en las hormonas y el metabolismo en sujetos que ingirieron dosis agudas de cafeína de 6 o 9 mg/kg. Los tiempos de rendimiento en los ciclistas recreativos pedaleando hasta el agotamiento a 80-85% del VO₂máx mejoraron por la cafeína, y esto no se afectó por 0-4 días de abstinencia de cafeína.

Cafeína y dietas altas en carbohidratos

Se reportó que una dieta alta en carbohidratos y una comida de carbohidratos antes de la carrera anularon el aumento esperado en AGL en plasma tras el consumo de cafeína durante 2 h de ejercicio a -75% del VO₂máx (Weir et al., 1987). Estos resultados fueron interpretados para dar a entender que las dietas altas en carbohidratos podrían anular los efectos ergogénicos de la cafeína, aunque no se midió el rendimiento en el ejercicio de resistencia. Sin embargo, una dieta alta en carbohidratos y una comida con carbohidratos previa a la prueba, no impidieron los aumentos inducidos por la cafeína en el rendimiento en una serie de estudios recientes que utilizaron corredores y ciclistas recreativos bien entrenados (ver Spriet, 1995).

Efecto diurético de la cafeína

Dado que la cafeína es un diurético, se ha sugerido que su consumo puede dar lugar a un mal estado de hidratación antes y durante el ejercicio. Sin embargo, dos estudios reportaron que no hubo cambios en la temperatura central, pérdida de sudor o volumen plasmático durante el ejercicio tras el consumo de cafeína (Falk et al., 1990; Gordon et al., 1982). Un reporte reciente también demostró que ni los volúmenes urinarios ni el estado de hidratación del cuerpo durante el ejercicio estuvieron afectados por el consumo de cafeína en una bebida de reposición de líquido (Wemple et al., 1994).

Consideraciones éticas

Puesto que se han reportado efectos ergogénicos de la cafeína con dosis de 3-6 mg/kg, es fácil para los atletas de resistencia mejorar el rendimiento con cafeína "legalmente". Sugerimos con base en nuestro trabajo, que la cafeína debería ser prohibida antes de las competencias de los atletas de resistencia. Esto garantizaría que ningún atleta tenga una ventaja injusta el día de la carrera, pero no evitaría el consumo de cafeína durante el entrenamiento. Los atletas tendrían que abstenerse del consumo de cafeína ~48-72 h antes de la competencia para lograr esta meta. Sin embargo, en el contexto actual, ¿qué deberían hacer los atletas? ¿Deberían usar la cafeína en cantidades moderadas para asegurarse de que no están perdiendo un efecto potencial beneficioso, o deberían evitar esta táctica ya que podría ser considerada dopaje? El punto de vista anterior puede ser popular porque el consumo de cafeína es frecuente en la sociedad, y los atletas no tendrán cantidades "ilegales" en orina. Otros sostienen que el consumo de cafeína con moderación es un asunto trivial; otros fármacos con efectos secundarios más graves requieren de una mayor atención. No obstante, el efecto ergogénico potencial de la cafeína es impresionante. Por otra parte, desalentar el consumo de cafeína contrarresta la mentalidad de "ganar a toda costa" y

pone el ejemplo adecuado para los jóvenes. El Centro Canadiense de Deportes libres de Fármacos reportó en 1993 que más del 25% de los jóvenes de 11 a 18 años reportaron utilizar cafeína en el año anterior para ayudarlos a ser mejores en los deportes.

RESUMEN

El consumo de cafeína (3-13 mg/kg de peso corporal) antes del ejercicio, a menudo incrementa el rendimiento durante ciclismo o carreras de resistencia prolongadas en el laboratorio. Dosis de cafeína menores a 9 mg/kg generalmente producen niveles de cafeína en orina por debajo del límite permisible por el COI (12 µg/mL). Dosis moderadas de cafeína (5-6 mg/kg) también incrementan el ciclismo intenso de corta duración (~5 min) en el laboratorio y disminuye el tiempo de nado de 1500 m (~20 min). Estos resultados generalmente se reportan en atletas élite o recreativos bien entrenados, pero los estudios de campo están siendo deficientes para confirmar los efectos ergogénicos de la cafeína en el mundo deportivo. Los mecanismos para la mejoría de la resistencia no se han establecido claramente, pero pueden involucrar efectos metabólicos, hormonales o directos de la cafeína en los músculos y/o en el sistema nervioso.

REFERENCIAS

- Anselme, F., K. Collomp, B. Mercier, S. Ahmaidi, and C. Prefaut. (1992). Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65:188-191.
- Bangsbo, J., K. Jacobsen, N. Nordberg, N.J. Christensen, and T. Graham. (1992). Acute and habitual caffeine ingestion and metabolic responses to steady-state exercise. *J. Appl. Physiol.* 72:1297-1303.
- Berglund, B., and P. Hemingsson. (1982). Effects of caffeine ingestion on exercise performance at low and high altitudes in cross country skiers. *Int. J. Sports Med.* 3:234-236.
- Chesley, A., E. Hultman, and L.L. Spriet. (1995). Effects of epinephrine infusion on muscle glycogenolysis during intense aerobic exercise. *Am. J. Physiol.* 268 (Endocrinol. Metab.):E127-E134.
- Chesley, A., E. Hultman, and L.L. Spriet. (1994). Variable effects of caffeine on muscle glycogenolysis in recreationally active subjects during intense aerobic exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 19:10P, 1994. (Abstract).
- Collomp, K., C. Caillaud, M. Audran, J.-L. Chanal, and C. Prefaut. (1990). Influence of acute and chronic bouts of caffeine on performance and catecholamines in the course of maximal exercise. *C.R. Soc. Biol.* 184:87-92.
- Collomp, K., S. Ahmaidi, M. Audran, J.-L. Chanal, and C. Prefaut. (1991). Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. *Int. J. Sports Med.* 12:439-443.
- Collomp, K., S. Ahmaidi, J.C. Chatard, M. Audran, and C. Prefaut. (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:377-380.
- Conlee, R.K. (1991). Amphetamine, caffeine and cocaine. In: D.R. Lamb and M.H. Williams (Eds.) *Ergogenics: Enhancement of Performance in Exercise and Sport*. Indianapolis: Brown and Benchmark, pp. 285-330.
- Costill, D.L., G. Dalsky, and W. Fink. (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med. Sci. Sports* 10: 155-158.
- Delbecke, F.T., and M. Debachere. (1984). Caffeine: use and abuse in sports. *Int. J. Sports Med.* 5:179-182.
- Dodd, S.L., R.A. Herb, and S.K. Powers. (1993). Caffeine and endurance performance: An update. *Sports Med.* 15:14-23.
- Essig, D., D.L. Costill, and P.J. VanHandel. (1980). Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int. J. Sports Med.* 1:86-90.
- Falk, B., R. Burstein, J. Rosenblum, Y. Shapiro, E. Zylber-Katz, and N. Bashan. (1990). Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 68:889-892.
- Flinn, S., J. Gregory, L.R. McNaughton, S. Tristram, and P. Davies. (1990). Caffeine ingestion prior to incremental cycling to exhaustion in recreational cyclists. *Int. J. Sports Med.* 11:188-193.
- Gordon, N.F., J.L. Myburgh, P.E. Kruger, P.G. Kempff, J.F. Cilliers, J. Moolman, and H.C. Grobler. (1982). Effects of caffeine on thermoregulatory and myocardial function during endurance performance. *S. Afr. Med. J.* 62:644-647.
- 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.* 78:867-874.
- Graham, T.E., J.W.E. Rush, and M.H. VanSoeren. (1994). Caffeine and exercise: metabolism and performance. *Can. J. Appl. Physiol.* 2:111-138.
- Graham, T.E., E. Hibbert, and P. Sathasivam. (1995). Caffeine Vs. coffee: coffee isn't an effective ergogenic aid. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:S224. (Abstract).
- 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.
- Jackman, M., P. Wendling, D. Friars, and T.E. Graham. (1996). Metabolic, catecholamine and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J. Appl. Physiol.* 80: In press.
- Lindinger, M.I., T.E. Graham, and L.L. Spriet. (1993). Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma [K⁺] in humans. *J. Appl. Physiol.* 74:1149-1155.
- MacIntosh, B.R., and B.M. Wright. (1995). Caffeine ingestion and performance of a 1500-metre swim. *Can. J. Appl. Physiol.* 20:168-177.
- McNaughton, L. (1987). Two levels of caffeine ingestion on blood lactate and free fatty acid responses during incremental exercise. *Res. Q. Exerc. Sport* 58:255-259.
- 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.
- Spriet, L.L., D.A. MacLean, D.J. Dyck, E. Hultman, G. Cederblad, and T.E. Graham. (1992). Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 262 (Endocrinol. Metab.):E891-E898.
- Spriet, L.L. (1995). Caffeine and performance. *Int. J. Sports Nutr.* 5:S84-S99.
- Tarnopolsky, M.A. (1994). Caffeine and endurance performance. *Sports Med.* 18:109-125.
- Trice, I., and E.M. Haymes. (1995). Effects of caffeine ingestion on exercise-induced changes during high-intensity, intermittent exercise. *Int. J. Sports. Nutr.* 5:37-44.
- VanSoeren, M.H., P. Sathasivam, L.L. Spriet, and T.E. Graham. (1993). Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and non-users. *J. Appl. Physiol.* 75:805-812.
- VanSoeren, M.H., P. Sathasivam, L.L. Spriet, and T.E. Graham. (1993). Short term withdrawal does not alter caffeine-induced metabolic changes during intensive exercise. *FASEB J.* 7:A518. (Abstract).
- VanSoeren, M.H., T. Mohr, M. Kjaer, and T.E. Graham. (1996). Acute effects of caffeine ingestion at rest in humans with impaired epinephrine responses. *J. Appl. Physiol.* 80: 999-1005, 1996.
- Weir, J., T.D. Noakes, K. Myburgh, and B. Adams. (1987). A high carbohydrate diet negates the metabolic effect of caffeine during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:100-105.
- Wemple, R.D., D.R. Lamb, and A.C. Blostein. (1994). Caffeine ingested in a fluid replacement beverage during prolonged exercise does not cause diuresis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:S204. (Abstract).
- Wilcox, A.R. (1990). Caffeine and endurance performance. In: *Sports Science Exchange*. Barrington, IL: Gatorade Sports Science Institute. 3:1-5.
- Wiles, J.D., S.R. Bird, J. Hopkins, and M. Riley. (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br. J. Sports Med.* 26:166-170.
- Williams, J.H., J.F. Signoille, W.S. Barnes, and T.W. Henrich. (1988). Caffeine, maximal power output and fatigue. *Br. J. Sports Med.* 229:132-134.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Graham T.E. and Spriet L.L. (1996). Caffeine and Exercise Performance. *Sports Science Exchange* 60, Vol. 9, No. 1, 1-5, por la L.N. Adriana de la Parra Solomon.