Monograph

Efectos de la Cafeína sobre el Rendimiento durante la Realización de Ejercicio en Mujeres Sedentarias

Karen Wallman, Jin W Goh y Kym J Guelfi

School of Sport Science, Exercise and Health, the University of Western Australia.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue examinar el efecto de la ingesta de cafeína sobre el trabajo total, la potencia media, el consumo de oxígeno (VO_2), el índice de intercambio respiratorio (RER), los valores de esfuerzo percibido (RPE), la frecuencia cardiaca (HR) y el gasto de energía (kJ) durante el trabajo en bicicleta fija con una producción de potencia estándar, y también durante un período de tiempo fijo en el que se le pidió a los participantes que pedalearan tan rápido como pudiesen. Diez mujeres saludables, sedentarias, que no eran consumidoras regulares de cafeína completaron 15 minutos de ciclismo en cicloergómetro con una producción de potencia estándar equivalente al 65% HR_{máx} (Fase A), seguida de 10 minutos de ciclismo en cicloergómetro, en el que se les pidió a los sujetos que pedalearan tan rápido como pudieran (Fase B) luego de ingerir $6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cafeína o placebo 60 minutos antes del ejercicio. El VO_2 y el gasto de energía fueron significativamente mayores al final de la Fase A ($p = 0.008$ y $p = 0.011$, respectivamente). Todas las otras variables examinadas en la Fase A fueron similares entre las pruebas. En la Fase B, no se hallaron diferencias significativas en ninguna de las variables examinadas. Si bien la ingesta de cafeína provocó incrementos significativos en el VO_2 y el gasto de energía durante el ejercicio en estado estable, no provocó mejoras en el rendimiento de ciclismo durante la prueba de 10 minutos, donde los participantes tuvieron que pedalear tan rápido como pudieran.

Palabras Clave: ejercicios submáximos, índice de esfuerzo percibido, gasto de energía, mantenimiento del peso

INTRODUCCION

La creencia común de que la cafeína mejora el desempeño mental y físico, combinada con la quita de la cafeína de la lista de sustancias prohibidas el primero de enero de 2004 que realizó la *Agencia Mundial Antidopaje* (WADA, 2008), ha provocado su amplio consumo entre los atletas que compiten en muchos deportes. Hasta la fecha, diversos estudios de investigación han demostrado que la cafeína es una ayuda ergogénica para ejercicios de diferentes intensidades, duraciones y modalidades en la población deportiva (Bell y McLellan, 2002; Bridge y Jones, 2006; Bruce et al., 2000; Doherty y Smith, 2005; Graham, 2001; Plaskett y Cafarelli, 2001; Schneiker et al., 2006; Stuart et al., 2005). Los beneficios asociados con la ingesta de cafeína en esta población incluyen el retraso en la sensación de fatiga (Anselme et al., 1992; Jackman et al., 1996), la reducción en la sensación de dolor y esfuerzo (Bell y McLellan, 2002), el incremento del tiempo hasta el agotamiento (Graham y Spriet, 1991), el incremento de la oxidación de ácidos grasos (Chad y Quigley, 1989), el incremento de la producción de potencia media (Anderson et al., 2000), la reducción de los tiempos para completar una cantidad determinada de trabajo (Bridege y Jones, 2006), la estimulación de la actividad motora (Fisone et al., 2004), y el aumento en la atención, la sensación subjetiva de energía y la capacidad de concentración (Keisler y Armsey, 2006; Lorist

et al., 1994). Si bien las razones precisas subyacentes a los efectos ergogénicos de la cafeína continúan siendo ambiguas, en general se ha aceptado que el mecanismo más probable es el antagonista del receptor de adenosina (Graham, 2001). Cuando el cuerpo se encuentra bajo una demanda metabólica incrementada, la adenosina circulante se incrementa para reducir esta actividad. Al unirse a los receptores de la adenosina, la cafeína es capaz de contrarrestar muchos de los efectos inhibitorios de la adenosina endógena sobre la neuroexcitabilidad (Kalmar y Cafarelli, 2004), la emisión de neurotransmisores (Fredholm et al., 1999) y la excitación (Porkka-Heiskanen, 1999).

Los efectos de la cafeína sobre el rendimiento físico (caminata, ciclismo y ejercicio de danza *aeróbica con subidas al banco*) se han evaluado en menor medida en las poblaciones activas recreacionales pero no deportivas (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999). Estos estudios reportaron que la cafeína incrementó de manera significativa el índice de gasto de energía (REE), el consumo de oxígeno (VO_2 : Ahrens et al., 2007a; Engels et al., 1999), y el porcentaje de VO_2 de reserva (Ahrens et al., 2007a), pero no alteró la sensación de esfuerzo (Ahrens et al., 2007a; 2007b), la frecuencia cardiaca (HR; Ahrens et al., 2007a; 2007b) o el índice de intercambio respiratorio (RER: Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999). Es relevante mencionar que estos estudios se han asociado con varias limitaciones que pueden haber afectado los resultados. Por ejemplo, no hubo periodo de ayuno previo a los protocolos de ejercicios (Ahrens et al., 2007a; 2007b), la muestra estuvo compuesta de individuos de ambos sexos (Engels et al., 1999) y no se controlaron los ciclos menstruales (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999), siendo que la fase lútea se asocia a una mayor sensibilidad al dolor (Fillingim y Ness, 2000). Además, ninguno de estos estudios evaluó los efectos de la cafeína sobre la capacidad para realizar más trabajo.

Es importante señalar que la capacidad de realizar más trabajo luego de la ingesta de cafeína, como se demostró en las poblaciones deportivas, puede dar como resultado un mayor gasto calórico y la posibilidad de mejorar la aptitud física si se mantiene el ejercicio durante un período de tiempo prolongado. Estos beneficios, combinados con el aumento propuesto en la oxidación de ácidos grasos asociados con la ingesta de cafeína (Chad y Quigley, 1989), son pertinentes a las poblaciones caracterizadas por estilos de vida sedentarios que luego pueden dar como resultado el aumento de peso con los consecuentes problemas de salud que esto puede acarrear. Es importante señalar que, para el conocimiento de los autores, hasta el momento solo se ha publicado un estudio que ha evaluado los efectos de la cafeína sobre el ejercicio en una población de sujetos sedentarios (Engels y Haymes, 1992). Estos investigadores reportaron una ventilación minuto significativamente mayor, así como un aumento de los ácidos grasos libres pre- y post-ejercicio asociado con un protocolo de caminata de 60 minutos en hombres sedentarios después de la ingesta de cafeína. Sin embargo, no se evaluó la capacidad de realizar más trabajo durante este período de tiempo. En consecuencia, se necesitan más estudios bien controlados para evaluar los efectos de la cafeína en una población sedentaria, con un enfoque particular en la capacidad de la cafeína para incrementar la oxidación de los ácidos grasos, disminuir la sensación de esfuerzo y mejorar el rendimiento del trabajo.

Por lo tanto, el primer propósito de este estudio fue examinar los efectos de la ingesta de cafeína sobre el VO_2 , el RER, el RPE y la HR durante 15 minutos de ciclismo en cicloergómetro a una producción de potencia estandarizada en una población femenina sedentaria. En segundo lugar, también se evaluó el efecto de la ingesta de cafeína sobre el rendimiento en 10 minutos de ciclismo en cicloergómetro a ritmo propio, donde se les pidió a los participantes que pedalearan tan rápido como pudieran durante este período de tiempo. En base a los beneficios ergogénicos reportados de la cafeína sobre el ejercicio, se planteó la hipótesis de que en comparación con la ingesta de placebo, la ingesta de cafeína podría dar como resultado valores menores de RPE y una mayor oxidación de ácidos grasos, indicada la disminución de los valores de RER durante el ejercicio de ciclismo en cicloergómetro con una producción de potencia determinada. También se planteó la hipótesis de que los participantes pedalearían a una intensidad general significativamente mayor y completarían una mayor cantidad de trabajo total durante los 10 minutos de prueba de ciclismo luego de la ingesta de cafeína.

MÉTODOS

Para este estudio participaron como voluntarias diez mujeres saludables y sedentarias que no eran consumidoras regulares de cafeína (<100 mg por día) ($DE \pm$ media; edad 22 ± 2 años; altura 1.65 ± 0.11 m; masa corporal 61.9 ± 14.8 kg; IMC 22.7 ± 3.0). Inicialmente se diagnosticó a las participantes utilizando el PAR-Q, y un cuestionario detallado para evaluar los hábitos de consumo de cafeína. A los individuos que participaban de más de 20 minutos de ejercicio realizado en tres o más días por semana se los consideraba inelegibles para el estudio. Antes de la prueba, los participantes dieron su consentimiento informado y el estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Western Australia (UWA).

Todos los participantes se presentaron en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la UWA en tres ocasiones separadas: una para una sesión de familiarización, seguidas de dos sesiones experimentales que incluyeron ciclismo en cicloergómetro seguido de la administración de cafeína o placebo utilizando un diseño doble ciego, cruzado y aleatorio. A los participantes

se les indicó que no consumieran cafeína durante las 48 horas previas a cada sesión de prueba, y que también evitaran realizar ejercicios durante las 24 horas previas. Las mismas instrucciones se aplicaron a todas las visitas. A todos los participantes se les facilitó una lista de comidas y bebidas que contenían cafeína a fin de informarles qué productos debían evitar. Asimismo, se les pidió a los participantes que llevaran un diario que documentara la dieta durante las 24 horas previas a la sesión de prueba y que repitieran esa dieta antes de cada visita subsiguiente.

La sesión de familiarización requirió que los participantes completaran un protocolo de ejercicio graduado en un cicloergómetro (Exertech EX-10 front access cycle ergometer, Repco Cycle Company, Huntingdale, Victoria) para determinar la producción de potencia requerida para generar una HR objetivo igual al 65% de la HR máxima estimada para la edad ($220 - \text{edad}$). Se seleccionó el % de la HR_{máx} en lugar del % VO₂_{máx} en un intento de hacer el estudio menos pesado para los participantes sedentarios. Este procedimiento incluyó una carga de trabajo inicial de 25 Watts (W) que se incrementó en 25 W cada tres minutos, hasta que se alcanzó la HR objetivo. Una vez que se obtuvo la HR objetivo, las participantes continuaron pedaleando a una producción de potencia que igualara este valor de HR durante 15 minutos. Durante este tiempo, las participantes respiraron a través de una boquilla unida a una válvula Hans-Rudolf conectada al sistema de análisis de gas computarizado que comprendía un monitor de ventilación Morgan (Morgan, Reinham, Kent, RU), un analizador de oxígeno (Ametek SOV S-3A11, Applied Electrochemistry, Ametek, Pittsburgh, PA) y un analizador de dióxido de carbono (Ametek COV CD-3A, Applied Electrochemistry, Ametek, Pittsburgh, PA). Ambos analizadores, el ventilómetro Morgan y el de gas, se calibraron antes de la prueba utilizando una jeringa de 1 L y una mezcla certificada de gas estándar β gravimétrico (BOC Gases, Chatswood, Australia) de composición conocida, respectivamente. Después de los 15 minutos iniciales de pedaleo, se les concedió a los participantes 5 minutos de descanso pasivo antes de comenzar otra serie de 10 minutos de pedaleo, donde se les pidió que pedalearan tan rápido como pudieran dentro de este límite de tiempo. Durante esta segunda fase de ejercicio, el investigador motivó constantemente a las participantes y les avisó de manera regular (cada minuto) el tiempo restante. Cabe destacar que los períodos de tiempo de 15 y 10 minutos se seleccionaron como resultado de una prueba piloto que indicó que las participantes sedentarias tenían dificultad para sobrellevar períodos de ejercicio más prolongados que los comprendidos en las dos fases de pedaleo utilizadas en este protocolo. El período de 10 minutos seleccionado para la segunda fase del protocolo es similar al utilizado en otros estudios que evaluaron la ingesta de cafeína en adultos activos recreacionalmente activos utilizando pruebas contra-reloj de sólo 8 minutos (Ahrens et al., 2007a; 2007b).

Luego se llevaron a cabo las pruebas experimentales, entre los días 3 y 11 del período menstrual de cada mujer (fase folicular) con aproximadamente 4 semanas entre las pruebas. Antes de cada sesión de prueba, se les dio a las participantes una cápsula que contenía cafeína ($6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ masa corporal; Nō-Dōz®, Key Pharmaceuticals Pty Ltd, Rhodes, NSW, Australia) o placebo ($6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ masa corporal; edulcorante Sucaryl) y se les indicó que ingirieran dicha cápsula a las 6.30 de la mañana del día de la prueba mientras estuvieran en casa. La dosis de $6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ se seleccionó en base a estudios previos que utilizaron esta dosis y reportaron beneficios sobre el rendimiento (Carr et al., 2008; Schneiker et al., 2006; Stuart et al., 2005). Se les pidió a las participantes que llegaran al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de UWA a las 7.15 de la mañana en ayunas, sin haber ingerido sólidos o líquidos, excepto agua durante las 12 horas previas. A las 7.30 de la mañana, se registró la HR inicial utilizando un monitor Polar HR (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) y se comenzó con el ejercicio de la prueba. La prueba de ejercicios se dividió en dos fases. La primer fase (Fase A) constó de 15 minutos de ciclismo en cicloergómetro a una producción de potencia constante que igualó el 65% de la HR_{máx} estimada para la edad del individuo, como se determinó durante la sesión de familiarización. Durante este período, las participantes respiraron a través de una boquilla conectada al sistema de análisis de gas computarizado descrito previamente para el análisis del VO₂, RER y gasto energético (kJ y $\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$) Además, se registraron la HR y el RPE (6 - 20 escala: Borg, 1982) a intervalos de 5 minutos a lo largo de todo el protocolo de ejercicio.

	Tiempo	Placebo	Cafeína	Cambio promedio (%) ± 90% límites de confianza	P
Trabajo realizado (J·kg⁻¹)	5 min	281 (86)	271 (66)	-0.11 (0.19)	0.39
	10 min	279 (74)	273 (64)	-0.07 (0.11)	
	15 min	277 (73)	280 (81)	0.03 (0.09)	
	Total	837 (232)	825 (210)	0.05 (0.08)	
Potencia media (Watts)	5 min	55 (15)	54 (15)	-0.06 (0.20)	0.80
	10 min	56 (15)	56 (14)	-0.03 (0.09)	
	15 min	56 (16)	56 (15)	-0.01 (0.10)	
	general	57 (16)	55 (14)	-0.12 (0.14)	
Energía (kJ·min⁻¹)	5 min	20 (5)	21 (4)	0.20 (0.20)	0.07
	10 min	21 (5)	21 (4)	0.08 (0.19)	
	15 min	20 (5)	22 (5)	0.48 (0.25)	
Energía (kJ)	Total	304 (296)	322 (315) *	0.25 (0.14)	0.07

Tabla 1. Efecto de la ingesta de cafeína o placebo sobre la cantidad total del trabajo realizado, energía media y gasto de energía durante 15 minutos de ciclismo en estado estable (Fase A). Los datos son medias (± DE). P indica el efecto de interacción tiempo-prueba. * Indica diferencia significativa ($p = 0.01$) en los valores de energía total (kJ) entre las pruebas en base a resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía.

Cuando se completó la Fase A, se les pidió a las participantes que descansaran durante 5 minutos y luego que pedalearan durante 10 minutos más tan rápido como pudieran (Fase B, ver detalles descritos anteriormente). Durante esta fase, la producción de potencia media y el trabajo total completado se registró usando el programa Cyclemax (School of Sports Science, Exercise and Health, UWA). Un dato para señalar es que a las participantes no se les proporcionó ninguna observación verbal ni visual con respecto a la intensidad de su trabajo. La frecuencia cardíaca y el RPE se registraron cada 5 minutos mientras que el VO_2 , el RER y el gasto de energía se calcularon a intervalos de 30 segundos con el programa asociado con el carro metabólico (META2000, UWA, Perth Australia). Se realizaron ejercicios de relajación activos y lentos, antes de que las participantes abandonaran el laboratorio.

Análisis de los Datos

Los resultados promedio del total del trabajo realizado, la producción de energía media general registrada entre las pruebas durante las Fases A y B de las pruebas experimentales se analizaron por separado utilizando el análisis de varianza ANOVA de una vía. También se utilizó un análisis ANOVA de dos vías para medidas repetidas a fin de evaluar los resultados para los bloques individuales de 5 minutos de las mediciones mencionadas anteriormente, así como la HR, el RPE, el VO_2 y el RER durante las dos fases del protocolo (tiempo y prueba). La significancia estadística se estableció en $p \leq 0.05$ y se realizaron comparaciones post hoc de Bonferroni donde fuera apropiado. Se analizaron todos los datos utilizando SPSS (Versión 13.0 para Windows; SPSS Inc, Chicago, IL).

RESULTADOS

Fase A

El efecto de la cafeína sobre la producción de energía media general y la cantidad total de trabajo realizado durante la Fase A se resume en la Tabla 1. No se hallaron diferencias significativas entre esas dos variables para las dos pruebas ($p = 0.26$ para el total del trabajo realizado y $p = 0.14$ para la producción de energía media general; Tabla 1). Además, cuando el período total de 15 minutos de la Fase A se dividió en bloques de 5 minutos, no hubo un efecto de interacción significativo tiempo-prueba para cada una de esas variables (Tabla 1). Sin embargo, la ingesta de cafeína tuvo un efecto significativo sobre el gasto de energía total durante la Fase A ($p = 0.01$; Tabla 1). Además, cuando se dividió la Fase A en bloques de 5 minutos, la interacción tiempo-prueba en el gasto de energía cobró significancia ($p = 0.07$; Tabla 1). El análisis post-hoc reveló que hubo un incremento significativo en el gasto de energía en la marca de 15 minutos de la prueba de ejercicios después de la ingesta de cafeína en comparación con la prueba de placebo ($p = 0.007$).

Si bien no hubo efectos significativos de interacción tiempo-prueba respecto de la HR, el RPE o el RER, los cambios en el VO_2 cobraron significancia estadística ($p = 0.08$; Tabla 2). El análisis post-hoc reveló que el VO_2 fue significativamente

mayor en la marca de 15 minutos de la prueba con cafeína en comparación con la prueba de placebo ($p = 0.008$; Tabla 2).

	Tiempo	Placebo	Cafeína	Cambio promedio (%) ± 90% límites de confianza	P
HR	5 min	130 (12)	129 (10)	-0.07 (0.57)	0.81
	10 min	134 (10)	136 (13)	-0.37 (0.68)	
	15 min	138 (12)	140 (12)	0.23 (0.61)	
RPE	5 min	11 (2)	10 (2)	-0.04 (0.56)	0.74
	10 min	11 (2)	11 (2)	-	
	15 min	11 (2)	11 (2)	-	
VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	5 min	16.05 (3.92)	16.93 (4.03)	0.22 (0.24)	0.08
	10 min	16.79 (3.91)	17.27 (3.33)	0.12 (0.19)	
	15 min	15.85 (3.64)	17.78 (3.93)	0.53 (0.28)	
RER	5 min	0.95 (0.08)	0.94 (0.08)	-0.21 (0.52)	0.31
	10 min	0.89 (0.05)	0.91 (0.07)	0.43 (1.18)	
	15 min	0.90 (0.04)	0.88 (0.08)	-0.35 (0.73)	

Tabla 2. Efecto de la ingesta de cafeína o placebo sobre la frecuencia cardíaca (HR), el índice de esfuerzo percibido (RPE), el consumo de oxígeno (VO₂) y el índice de intercambio respiratorio (RER) durante los 15 minutos de ciclismo en estado estable (Fase A). Los valores son medias (± DE, n=10). P indica el efecto de interacción tiempo-prueba.

	Tiempo	Placebo	Cafeína	Cambio promedio (%) ± 90% límites de confianza	P
Trabajo realizado (J·kg ⁻¹)	5 min	423 (85)	410 (74)	0.55 (0.52)	0.19
	10 min	410 (74)	406 (49)	-0.05 (0.67)	
	Total	833 (142)	876 (109)	-0.06 (0.38)	
Potencia media (Watts)	5 min	86 (29)	92 (29)	0.19 (0.36)	0.92
	10 min	84 (23)	90 (28)	0.28 (0.45)	
	General	85 (25)	90 (26)	-0.14 (0.60)	
Energía (kJ·min ⁻¹)	5 min	28 (7)	31 (8)	0.34 (0.40)	0.93
	10 min	30 (8)	32 (8)	0.33 (0.47)	
Energía (kJ)	Total	289 (280)	314 (302)	0.17 (0.50)	0.93

Tabla 3. Efecto de la cafeína o placebo en la cantidad total del trabajo realizado, potencia media y gasto de energía durante 10 minutos de pedaleo a una intensidad seleccionada por el sujeto (Fase B). Los valores son medias (± DE, n=10). P indica el efecto de interacción tiempo-prueba.

Fase B

No se hallaron diferencias significativas para la cantidad total de trabajo realizado, la energía media general o el gasto de energía total durante el período de 10 minutos de pedaleo a ritmo individual entre las dos condiciones ($p = 0.27$, $p = 0.32$ y $p = 0.16$, respectivamente), o cuando se analizaron los bloques individuales de 5 minutos (Tabla 3). Además, no hubo efectos de interacción significativos (tiempo-prueba) para la HR, el RPE, el VO₂ o el RER (Tabla 4) durante los 10 minutos de la prueba de pedaleo a ritmo individual.

Seis de las diez participantes identificaron correctamente su exposición a la cafeína debido a las sensaciones de inquietud, hiperactividad y temblor en manos y piernas. El resto creyó no haber recibido el tratamiento con cafeína, basándose en el hecho de que no sintieron ningún efecto asociado a la ingesta de cafeína.

DISCUSION

Si bien se han establecido bien los beneficios ergogénicos de la cafeína en los atletas, no sucede lo mismo con la población sedentaria. Cabe destacar que los beneficios asociados a la ingesta de cafeína, por ejemplo, la capacidad de realizar más trabajo, así como una sensación disminuida de esfuerzo asociado con el ejercicio, se podrían utilizar para promover el rendimiento inicial del ejercicio en individuos sedentarios quienes tienen una mayor predisposición a ganar peso y a sufrir los problemas de salud asociados. Por lo tanto, este estudio evaluó el efecto de la ingesta de cafeína sobre las variables fisiológicas en 10 mujeres sedentarias durante la realización de ejercicio aeróbico en estado estable de 15 minutos, así como durante un protocolo de ejercicio de 10 minutos, donde se les pidió a las participantes que pedalearan lo más rápido que pudieran. En general, los resultados de este estudio demostraron que la cafeína dio como resultado aumentos significativos en el gasto energético y en el consumo de VO_2 sólo durante el protocolo de estado estable (fase A).

Estos resultados fueron sorprendentes considerando la evidencia contundente para un trabajo significativamente mayor que se desarrolla en tiempos determinados luego de la ingesta de cafeína en la población deportiva (Bridgely y Jones; 2006; Collomp et al., 1992; Ivy et al., 1979; Schneiker et al., 2006). Además, un meta análisis de Doherty y Smith (2005) reportó que cuando se compara con el placebo, la ingesta de la cafeína da como resultado una reducción de 6% en el RPE durante un ejercicio a ritmo constante. La ausencia de diferencias significativas en el rendimiento durante el ejercicio y otras variables fisiológicas puede deberse a la utilización de duraciones de ejercicio (15 minutos para la fase A y 10 minutos para la fase B), que son considerablemente más breves que las utilizadas en los estudios llevados a cabo con deportistas y que reportaron beneficios significativos sobre el rendimiento (e.g., ≥ 30 min; Costill et al., 1978; Dodd et al., 1993; Graham y Spriet, 1991; Ivy et al., 1979). Esta conjetura está respaldada por los resultados de Ahrens et al. (2007a) y Ahrens et al. (2007b) que no mostraron un cambio significativo en el RPE, la HR y el RER luego de la ingesta de cafeína durante los protocolos de ejercicio que duraron sólo 8 minutos en mujeres con buena aptitud física que realizaban actividades recreativas. Es posible que sea necesaria una duración de ejercicio más prolongada para que los mecanismos que subyacen a los efectos ergogénicos de la cafeína den como resultado diferencias significativas. Además, el uso del % $VO_{2\text{máx}}$ en lugar del %HR $_{\text{máx}}$ como guía para la intensidad del ejercicio durante la fase A del protocolo de ejercicio puede haber llevado a resultados fisiológicos diferentes debido a la variabilidad asociada con los valores de la HR. No obstante, se hicieron todos los esfuerzos para realizar las pruebas de ejercicio bajo condiciones similares a fin de reducir la variabilidad de la HR (ver la sección Métodos).

Los estados de entrenamiento también pueden jugar un rol en identificar los beneficios del rendimiento del ejercicio asociados a la ingesta de cafeína. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios que reportaron un aumento significativo en el rendimiento del ejercicio luego de la ingesta de cafeína incluía atletas bien entrenados, mientras que los efectos de la cafeína pueden ser diferentes en una población no atlética.

	Tiempo	Placebo	Cafeína	Cambio promedio (%) ± 90% límites de confianza	P
HR (latidos·min ⁻¹)	5 min	159 (17)	169 (14)	0.59 (0.50)	0.69
	10 min	167 (21)	178 (10)	0.53 (0.49)	
RPE	5 min	13 (2)	13 (2)	-0.06 (0.38)	0.79
	10 min	15 (2)	14 (2)	-0.14 (0.60)	
VO_2 (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	5 min	21.74 (3.41)	23.59 (4.28)	0.54 (0.69)	0.75
	10 min	22.97 (4.43)	25.22 (4.31)	0.51 (0.69)	
RER	5 min	0.99 (0.08)	1.01 (0.09)	0.23 (0.59)	0.43
	10 min	0.94 (0.05)	0.95 (0.06)	0.08 (0.63)	

Tabla 4. Frecuencia cardiaca (HR), esfuerzo percibido (RPE), consumo de oxígeno (VO_2) e índice de intercambio respiratorio (RER) durante los 10 minutos de ciclismo a una intensidad seleccionada por el sujeto (Fase B). Los valores son medias (± DE, n=10). P indica el efecto de interacción tiempo-prueba.

Esta premisa se respalda en estudios que evaluaron los efectos de la ingesta de cafeína en comparación con el placebo en hombres sedentarios (Engels y Haymes, 1992), así como también en individuos recreacionalmente activos (Engels et al., 1999, Ahrens et al., 2007a; 2007b) y que no reportaron diferencias significativas en el RPE (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999), la HR (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999) o el RER (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999) durante el ejercicio. Cabe mencionar que en esos estudios sólo se realizó el ejercicio de estado estable y no se

evaluó el rendimiento total del trabajo. Puede especularse que los cambios fisiológicos de adaptación que ocurren en atletas entrenados pueden resultar en una mayor respuesta o sensibilidad a la ingesta de cafeína y sus consecuentes efectos. Esto puede implicar que puede ser necesaria una dosis mayor de cafeína en una población sedentaria a fin de inducir un beneficio fisiológico. Hasta la fecha, además del presente estudio, sólo se ha probado una dosis de $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína en una población sedentaria (Engels y Haymes, 1992), mientras que las dosis de $3 - 6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ se han utilizado en estudios con individuos que son activos de manera recreacional (Ahrens et al., 2007a; 2007b; Engels et al., 1999). Además, los valores de RER significativamente menores asociados con la ingesta de cafeína que se reportan en muchos estudios de resistencia que involucran atletas (Bell y McLellan, 2002; Chad y Quigley, 1989; Costill et al., 1978; Graham y Spriet, 1991) pueden deberse en parte a que los individuos en mejor estado físico dependen más de los ácidos grasos como fuente de energía (McArdle et al., 2001) en combinación con la capacidad propuesta de la cafeína para movilizar los ácidos grasos libres (Engels y Haymes, 1992). En cambio, el desacondicionamiento, que luego resulta en una mayor dependencia de los CHO como fuente de energía, puede explicar en parte la diferencia no significativa hallada entre los valores de RER en los participantes sedentarios del presente estudio. Una vez más, el proceso de adaptación que acompaña el entrenamiento regular puede ser necesario para inducir a la utilización significativamente mayor de ácidos grasos como combustible (reflejada por valores menores de RER) durante los ejercicios de resistencia. Se necesitan más estudios para evaluar los efectos de la ingesta de cafeína en participantes no entrenados versus los entrenados.

Además, es posible que la ingesta de cafeína pueda tener un efecto ergogénico en la población sedentaria cuando el ejercicio se realiza a intensidades de ejercicio mayores. Por ejemplo, Engels et al. (1999) no observaron cambios significativos en el VO_2 y en el RER en hombres sedentarios después de la ingesta de cafeína al realizar una caminata a intensidades equivalentes al 30% y 50% del VO_2 máx. Cabe indicar que la mayor intensidad de ejercicio empleada por Engels y Haymes (1992) es similar a la intensidad usada durante ciclismo en estado estable en el presente estudio, que fue equivalente al 65% de la HR máx individual (McArdle et al., 2001), que también llevó a resultados similares entre las pruebas de cafeína y placebo. Por el contrario, una revisión de Graham (2001) observó que la mayoría de los estudios que reportaron un aumento en el rendimiento en el ejercicio en una población deportiva luego de la ingesta de cafeína utilizaron intensidades de ejercicios entre el 75-85% del VO_2 máx. Otra explicación para los resultados de este estudio puede deberse a que los participantes no están acostumbrados al ejercicio regular y en consecuencia son reacios a extenderse en la Fase B del protocolo debido al temor a sufrir lesiones o a la falta de confianza en sus capacidades. La inclusión de sesiones de ejercicio extra puede incrementar la confianza en los ejercicios, que puede dar como resultado más trabajo realizado durante una rutina de ejercicio en un tiempo determinado y a un ritmo individual.

Los valores significativamente mayores de VO_2 asociados con el ejercicio en estado estable (Fase A) luego de la ingesta de cafeína también se vieron reflejados por un gasto energético significativamente mayor. Estudios previos que evaluaron el efecto de la ingesta de cafeína en una población no deportiva han reportado hallazgos mixtos respecto del VO_2 durante el ejercicio. Engels et al. (1999) reportaron un incremento significativo en el VO_2 y en el gasto energético, sin cambios en el RER, luego de la ingesta de cafeína en los adultos activos de manera recreacional durante una prueba de ciclismo de 60 minutos y sugirieron que esos resultados se debieron a varios mecanismos que incluyen los efectos de estimulación de la cafeína. Otro estudio de Ahrens et al. (2007a) reportó un incremento significativo del 4% en el VO_2 con una caminata de 8 minutos en cinta ergométrica a intensidad moderada, mientras que Engels y Haymes (1992) no reportaron diferencias significativas en los valores del VO_2 luego de la ingesta de cafeína o placebo durante una caminata de 60 minutos al 30% y 50% del VO_2 máx. Se propuso que el incremento en el VO_2 reportado por Ahrens et al. (2007a) se debió a un incremento en el volumen sistólico teniendo en cuenta que los valores de la HR no fueron significativamente diferentes entre las pruebas (basados en la ecuación de Fick). Esta conjetura también fue propuesta por Hartley et al. (2004), quienes observaron un incremento en el VO_2 en mujeres como consecuencia de un volumen sistólico mayor (pero no de la HR) tanto durante el reposo como durante pruebas de estrés mental, 45 minutos después de una ingesta de cafeína de $3.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dado que los valores de la HR fueron similares entre las pruebas del presente estudio, es posible que un incremento en el volumen sistólico pueda haber sido el responsable del mayor VO_2 y por lo tanto del gasto energético reportado luego de la ingesta de cafeína durante la fase de ciclismo en estado estable. Otros posibles mecanismos responsables de estos incrementos pueden estar relacionados con los efectos estimulantes asociados a la ingesta de cafeína (e.g., el incremento en la liberación de catecolaminas; Graham, 2001).

CONCLUSION

Este estudio demostró que una dosis moderada de cafeína no mejoró el rendimiento de ciclismo realizado en un período de tiempo de 10 minutos en mujeres sedentarias, sin embargo, la ingesta de cafeína incrementó significativamente el VO_2 y el gasto energético durante el ejercicio en estado estable. Mientras que este incremento en el gasto energético representó solo una diferencia de 22 kJ entre las pruebas, este incremento podría magnificarse si se incrementaran la duración y la

frecuencia del ejercicio. Es posible que esas pequeñas mejorías iniciales observadas en la habilidad para realizar ejercicio a través de la ingesta de cafeína puedan motivar a los individuos sedentarios a hacer del ejercicio un hábito regular. Esto, a su vez, puede resultar en implicancias positivas para el control del peso, el estado físico y la salud. Cabe destacar que la naturaleza adictiva de la cafeína, combinada con los posibles problemas de salud asociados, como los trastornos del sueño (Landolt et al., 1995), la ansiedad inducida por la cafeína, (Fredholm et al., 1999), y la presión sanguínea arterial media elevada (James et al., 1991), debe informarse con claridad a los individuos, y la cafeína sólo debe usarse como una herramienta de motivación en la etapa inicial de un programa de ejercicios. Se requieren de estudios adicionales que investiguen los efectos de la cafeína en una población sedentaria en los cuales se deberían utilizar sesiones extra de ejercicio, duraciones de ejercicio más prolongadas y mayores intensidades, así como también mayores dosis de cafeína.

Puntos Clave

- Una dosis de cafeína de 6.0 mg·kg⁻¹ no mejoró el trabajo realizado (J·kg⁻¹) ni la potencia media (W) durante 10 minutos de pedaleo estable a ritmo individual en participantes mujeres sedentarias.
- Una dosis de cafeína de 6.0 mg·kg⁻¹ incrementó significativamente el VO₂ y el gasto energético (kJ) durante 15 minutos de pedaleo en estado estable en participantes mujeres sedentarias.
- Una dosis de cafeína de 6.0 mg·kg⁻¹ no afectó de manera significativa el RPE, el RER ni la HR durante 15 minutos de pedaleo en estado estable realizado tan rápido como el participante pudiera, en comparación con el placebo, en participantes femeninas sedentarias.

Agradecimientos

La totalidad de los costos financieros de este proyecto fueron cubiertos por la Facultad de Ciencias del Deporte, el Ejercicio y la Salud de la Universidad de Australia Occidental.

REFERENCIAS

1. Ahrens, J.N., Crixell, S.H., Lloyd, L.K. and Walker, J.L (2007). The physiological effects of caffeine in women during treadmill walking. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1), 164-168
2. Ahrens, J.N., Lloyd, L.K., Crixell, S.H. and Walker, J.L (2007). The effects of caffeine in women during aerobic-dance bench stepping. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 17, 27-34
3. Anderson, M.E., Bruce, C.R., Fraser, S.F., Stepto, N.K., Klein, R., Hopkins W.G. and Hawley, J.A (2000). Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 10 (4), 464-475
4. Bell, D.G. and McLellan, T.M (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology* 93, 1227-1234
5. Bridge, C.A. and Jones, M.A (2006). The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. *Journal of Sports Sciences* 24(4), 433-439
6. Bruce, C.R., Anderson, M.E., Fraser, S.F., Stepto, N.K., Klein, R., Hopkins, W.G., and Hawley, J.A (2000). Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(11), 1958-1963
7. Carr, A., Dawson, B., Schneiker, K. T., Goodman, C. and Lay, B (2008). Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 44(4), 472-478
8. Chad, K. and Quigley, B (1989). The effects of substrate utilization, manipulated by caffeine on post-exercise oxygen consumption in untrained female subjects. *European Journal of Applied Physiology* 59, 48-54
9. Collomp, K., Ahmaidi, S., Chatard, J. C., Audran, M. and Prefaut, C (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *European Journal of Applied Physiology* 64, 377-380
10. Costill, D.L., Dalsky, G.P. and Fink, W.J (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Medicine and Science in Sports* 10(3), 155-158
11. Dodd, S., Herb, R. and Powers, S.K (1993). Caffeine and exercise performance-an update. *Sports Medicine* 115(1), 14-23
12. Doherty, M. and Smith, P.M (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: A meta analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 15, 69-78
13. Engels, H.J. and Haymes, E.M (1992). Effects of caffeine ingestion on metabolic responses to prolonged walking in sedentary males. *International Journal of Sport Nutrition* 2, 386-396
14. Engels, H.J., Wirth, J.C., Celik, S. and Dorsey, J.L (1999). Influence of caffeine on metabolic and cardiovascular functions during sustained light intensity cycling and at rest. *International Journal of Sport Nutrition* 9, 361-370
15. Fillingim, R.B. and Ness, T.J (2000). Sex related hormonal influences on pain and analgesic responses. *Neuroscience & Behavioral Reviews* 24(4), 485-501
16. Fisone, G., Borgkvist, A. and Usiello, A (2004). Caffeine as a psychomotor stimulant: mechanism of action. *Cellular and Molecular Life Sciences* 61(7-8). 857-874
17. Fredholm, B., Battig, K., Holmen, J., Nehlig, A. and Zvartau, E.E (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to

- factors that contribute to its widespread use. *Pharmacological Reviews* 551(1), 83-133
18. Graham, T.E (2001). Caffeine and exercise: metabolic, endurance and performance. *Sports Medicine* 31(11), 785-807
 19. Graham, T.E. and Spriet, L.L (1991). Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology* 71(6), 2292-2298
 20. Hartley, T.R., Lovallo, W.R. and Whitsett, T.L (2004). Cardiovascular effects of caffeine in men and women. *The American Journal of Cardiology* 93(8), 1022-1026
 21. Ivy, J.L., Costill, D.L., Fink, W.J. and Lower, R.W (1979). Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Medicine and Science in Sports* 11(1), 6-11
 22. Jackman, M.P., Wendling, D., Friars, D. and Graham, T.E (1996). Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *Journal of Applied Physiology* 81(4), 1658-1663
 23. James, J (1991). Caffeine and Health. *Academic Press, London.*, 1-432
 24. Kalmar, J.M. and Cafarelli, E (2004). Caffeine: A valuable tool to study central fatigue in humans?. *Exercise and Sport Science Reviews* 32(4), 143-147
 25. Keisler, B.D. and Armsey, T.D (2006). Caffeine as an ergogenic aid. *Current Sports Medicine Reports* 5, 215-219
 26. Landolt, H., Dijk, D., Gaus, S. and Borbely, A (1995). Caffeine reduces low frequency delta activity in the human sleep EEG. *Neuropsychopharmacology* 112, 229-238
 27. Lorist, M.M., Snel, J. and Kok, A (1994). Influence of caffeine on information processing stages in well rested and fatigued subjects. *Psychopharmacology* 1113, 411-421
 28. McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L (2001). Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance. 5th edition. Maryland: Lippincott Williams and Wilkins
 29. Plaskett, C.J. and Cafarelli, E (2001). Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions. *Journal of Applied Physiology* 91, 1535-1544
 30. Porkka-Heiskanen, T (1999). Adenosine in sleep and wakefulness. *Annals of Medicine* 331, 125-129
 31. Schneiker, K.T., Bishop, D., Dawson, B. and Hackett, L.P (2006). Effects of caffeine on prolonged intermittent sprint ability in team-sport athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38(3), 578-585
 32. Stuart, G.R., Hopkins, W.G., Cook, C. and Cairns, S.P (2005). Multiple effects of caffeine on stimulated high-intensity team-sport performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37(11), 1998-2005
 33. World Anti-Doping Agency (2008). The world anti-doping code. The 2009 prohibited list. International standard. Retrieved October 24, 2008, from URL: http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/2009_Prohibited_List_ENG_Final_20_Sept_08.pdf

Cita Original

Karen E. Wallman, Jin W. Goh and Kym J. Guelfi. Effects of Caffeine on Exercise Performance in Sedentary Females. *Journal of Sports Science and Medicine* (2010) 9, 183 - 189.