

Article

Los Efectos de Diferentes Dosis de Cafeína sobre la Fuerza Máxima y la Fuerza-Resistencia en Mujeres Habitadas a la Cafeína

Aleksandra Filip-Stachnik¹, Michal Wilk¹, Michal Krzysztofik¹, Ewelina Lulińska², James J. Tufano³, Adam Zajac¹, Petr Stastny³ y Juan Del Coso⁴

¹*Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, ul. Mikolowska 72a, 40-065 Katowice, Poland*

²*Faculty of Physical Education, Gdansk University of Physical Education and Sport, 80-336 Gdansk, Poland*

³*Faculty of Physical Education and Sport, Charles University, Prague, Czech Republic*

⁴*Centre for Sport Studies, Rey Juan Carlos University, Fuenlabrada, Spain*

RESUMEN

Propósito: El objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos agudos de 3 y 6 mg de ingesta de cafeína por kg de masa corporal (p.c.) sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia en mujeres habitadas a la cafeína. **Métodos:** Veintiuna estudiantes sanas entrenadas en fuerza (23.0±0.9 años, masa corporal: 59.0±6.6 kg), con una ingesta diaria de cafeína de 5.8±2.6 mg/kg/p.c., participaron en un diseño aleatorio, cruzado y doble ciego. Cada participante realizó tres sesiones experimentales después de ingerir un placebo (PLAC) o 3 mg/kg/p.c. (CAF-3) y 6 mg/kg/p.c. (CAF-6) de cafeína. En cada sesión experimental, las participantes se sometieron a una prueba de 1MR y una prueba de fuerza-resistencia al 50% de 1MR en el ejercicio de press de banco. La carga máxima se midió en el test de 1MR y el tiempo bajo tensión, el número de repeticiones realizadas, la producción de potencia y la velocidad de la barra se registraron en la prueba de fuerza-resistencia. **Resultados:** El ANOVA de una vía mostró un efecto principal de la cafeína en el rendimiento 1MR del press de banco ($F = 14.74$; $p < 0.01$). En comparación con el PLAC (40.48±9.21 kg), CAF-3 (41.68±8.98 kg; $p = 0.01$) y CAF-6 (42.98±8.79 kg; $p < 0.01$) aumentaron los resultados del test de 1MR de press de banco. También hubo un aumento significativo en 1MR para CAF-6 en comparación con CAF-3 ($p < 0.01$). Hubo un efecto principal de la cafeína en el tiempo bajo tensión durante la prueba de fuerza-resistencia ($F = 13.09$; $p < 0.01$). En comparación con el PLAC (53.52±11.44 seg), CAF-6 (61.76±15.39 seg; $p < 0.01$) aumentó significativamente el tiempo bajo tensión durante la prueba de fuerza-resistencia máxima. **Conclusión:** Una dosis aguda de 3 a 6 mg/kg/p.c. de cafeína mejora la fuerza máxima. Sin embargo, estas dosis de cafeína tuvieron un efecto ergogénico mínimo sobre el rendimiento de fuerza-resistencia en mujeres habitadas a la cafeína.

INTRODUCCIÓN

Se ha encontrado que la ingesta aguda de cafeína (CAF) es eficaz para mejorar el rendimiento del ejercicio en una amplia gama de ejercicios de fuerza basados en modalidades de ejercicio de fuerza-resistencia [1, 2, 3] y de fuerza-potencia [4, 5].

El efecto ergogénico de la CAF se ha encontrado cuando se consume en dosis que van de 3 a 13 mg/kg de peso corporal (p.c.) y se ingiere en forma de cápsulas 30 a 90 min antes del ejercicio [6, 7], aunque el uso de dosis altas de CAF normalmente aumenta la prevalencia de efectos secundarios asociados a la cafeína [8]. Curiosamente, la forma de administración de la CAF parece ser menos relevante que la dosis y el momento, ya que se han encontrado efectos ergogénicos de la CAF sobre el ejercicio de fuerza después de consumir bebidas energéticas con cafeína [9], geles [10] y café [11].

Los mecanismos responsables de los efectos ergogénicos de la CAF están relacionados con el impacto de esta sustancia en varios tejidos, órganos y sistemas del cuerpo humano [12,13,14,15]. Específicamente, la naturaleza hidrófila de la CAF permite una alta capacidad de distribución, mientras que su naturaleza lipofílica permite que la CAF penetre en todos los tejidos, ingrese al agua intracelular y atraviese la barrera hematoencefálica [16]. El efecto de la CAF en múltiples tejidos corporales hace que sea difícil determinar con precisión el mecanismo de acción clave durante el ejercicio. No obstante, se han propuesto varios mecanismos, como la reducción del dolor muscular y el esfuerzo percibido [17], el aumento de la oxidación de las grasas [18], el aumento de la saturación de oxígeno del músculo [19] y los cambios locales dentro del músculo activo [20], para explicar los efectos ergogénicos de la cafeína, aunque la mayoría explica el efecto de la CAF sobre la intensidad del ejercicio submáximo. Hasta la fecha, la capacidad de la CAF para bloquear los efectos fatigantes de la adenosina parece la explicación más plausible de los amplios efectos ergogénicos de este suplemento sobre el rendimiento físico [21, 22]. Brevemente, la evidencia en modelos animales [13] y humanos [23] respalda la capacidad de la CAF para actuar como un antagonista de los receptores de adenosina A1 y A2A, inhibiendo el freno que la adenosina endógena impone sobre los sistemas ascendentes de dopamina y excitación [14].

Dado que el sexo ha sido reconocido como un factor importante del rendimiento atlético y deportivo a través del impacto de las diferencias endócrinas [24], son necesarias recomendaciones específicas tanto para mujeres como para hombres para lograr los mejores resultados deportivos posibles con el uso de la CAF. Sin embargo, los estudios de suplementación con CAF se han centrado principalmente en hombres o en una población mixta y se sabe poco acerca de los efectos de la CAF sobre el rendimiento muscular en mujeres [25, 26]. Específicamente, una revisión sistemática [27] ha sugerido que los efectos de la CAF durante el ejercicio de fuerza pueden reducirse en mujeres en comparación con los hombres que ingieren la misma dosis de CAF. Además, algunos de los efectos estimulantes inducidos por la cafeína son de menor magnitud en las mujeres que en los hombres [28]. Además, dos investigaciones recientes han encontrado que el efecto ergogénico de la CAF puede ser de magnitud similar en hombres y mujeres, aunque estas investigaciones se llevaron a cabo en condiciones aeróbicas que duraron aproximadamente entre 6 y 60 minutos [29, 30]. Por lo tanto, hasta la fecha, se desconoce si los efectos ergogénicos de la CAF relacionados con el rendimiento del ejercicio de fuerza observados en sujetos masculinos [1, 2, 5, 31] se aplican a las atletas femeninas. Además, la hipótesis de que la magnitud del efecto ergogénico de la cafeína sobre el ejercicio de fuerza es similar en los atletas de ambos sexos requiere verificación.

Sólo dos estudios previos analizaron los efectos ergogénicos de la CAF sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia local en mujeres [4, 32]. Goldstein y cols. [4] mostró que la ingesta aguda de CAF (6 mg/kg/p.c.) aumentó significativamente el rendimiento en el press de banco (1 repetición máxima - 1MR) sin una mejora significativa en el número de repeticiones realizadas al 60% de 1MR. Asimismo Sabblah y cols. [32] mostraron mejoras significativas en los resultados de un test de 1MR en el ejercicio de press de banco después de la ingesta de 5 mg/kg/p.c. de CAF en sujetos masculinos y femeninos. Sin embargo, la ingesta de CAF no produjo ningún efecto durante el ejercicio de sentadilla en 1MR y durante una prueba de fuerza-resistencia al 40% de 1MR en un protocolo de ejercicio de press de banco en mujeres, mientras que se encontró una tendencia a un mayor rendimiento en la prueba de fuerza-resistencia en sujetos masculinos. Por lo tanto, la escasez de datos hace que sea difícil concluir si la ingesta aguda de CAF aumenta el rendimiento del ejercicio de fuerza y si el efecto ergogénico potencial es de una magnitud similar al encontrado en los hombres.

También hay una falta de información sobre cómo la habituación a la CAF puede afectar el efecto ergogénico de la CAF en mujeres porque la mayoría de los estudios anteriores no seleccionaron participantes femeninas habituadas a la CAF [4, 32,33,34]. La ingesta habitual de CAF modifica las respuestas fisiológicas a la ingesta aguda de este estimulante mediante la regulación positiva de los receptores de adenosina [33, 35]. En modelos animales, la ingesta aguda de CAF (10 mg/kg/p.c./día durante dos semanas) aumentó el número de sitios de unión para la adenosina en la corteza cerebral [36]. Entonces, la ingesta crónica de CAF da como resultado receptores de adenosina de nueva creación, lo que reduce en parte el bloqueo competitivo de la CAF sobre los receptores de adenosina y, en última instancia, reduce sus efectos ergogénicos de manera progresiva [37]. En este contexto, la habituación a la CAF por ingesta crónica produciría una reducción progresiva de los efectos ergogénicos de la CAF en aquellos deportistas que consuman CAF de forma regular, ya que los receptores de adenosina de nueva creación pueden unirse a la adenosina e inducir fatiga. También se ha propuesto una habituación progresiva a los beneficios del rendimiento de la CAF en investigaciones con humanos al comparar el efecto ergogénico de la CAF en consumidores sin experiencia o con bajo contenido de CAF versus individuos con ingesta habitual de CAF. Sin embargo, las diferencias en los protocolos de investigación y los umbrales para considerar a un participante como consumidor habitual de CAF dificultan la obtención de conclusiones definitivas. Por lo tanto, la evidencia actual indica que la habituación a la CAF puede disminuir sus efectos ergogénicos, pero en este momento no se conocen ni el

curso temporal de tolerancia ni la dosis de CAF necesaria para crear dicha habituación.

En los hombres, la habituación a la CAF redujo los efectos ergogénicos de la ingesta aguda de 3 a 9 mg/kg/p.c. de CAF durante el ejercicio de press de banco [5] y dosis de hasta 11 mg/kg/p.c. pueden ser necesarias para obtener efectos menores de la ingesta aguda de CAF sobre la fuerza muscular máxima [1, 2]. Pickering y Kiely [38] sugirieron que la reducción de los efectos ergogénicos de la CAF en consumidores habituales puede modificarse utilizando dosis superiores a la ingesta habitual diaria. Sin embargo, un estudio de Wilk y cols. [1, 2] no mostró beneficios (excepto en la fuerza máxima) de la ingesta aguda de CAF cuando las dosis de CAF estaban por encima de su ingesta habitual. En otro estudio, Wilk y cols. [39] encontraron un efecto positivo de la CAF (3 y 6 mg/kg/pc) sobre la producción de potencia media y la velocidad media de la barra durante el lanzamiento de press de banco en atletas habituados a la CAF, y se obtuvieron mejoras en el rendimiento inclusive cuando la dosis de CAF no excedía el valor del consumo habitual. Mediante el uso de diseños transversales, Sabol y cols. [33] y Grgic y Mikulic [34] demostraron que los efectos agudos de la ingesta de CAF (de 2 a 6 mg/kg/pc) no se vieron afectados por la ingesta habitual de CAF de los participantes, ya que encontraron efectos positivos de la CAF sobre el rendimiento del ejercicio de fuerza en individuos con diferentes niveles de consumo diario de CAF. En consonancia con esa investigación, un estudio reciente de Clark y Richardson [40] realizado en hombres y mujeres habituados a la cafeína, demostró que el efecto ergogénico de la ingesta de café (que proporciona 3 mg/kg/pc de CAF) en una prueba de rendimiento contrarreloj de 5 km en bicicleta fue similar en individuos con bajo y alto consumo habitual de CAF. Sin embargo, en este último estudio, no se analizó el efecto del sexo en la mejora del rendimiento de la CAF. Cabe señalar que todos los estudios previos que consideraron el impacto de la habituación a la CAF [1, 2, 33, 34, 39] utilizaron muestras en las que los hombres conformaban la mayor parte de la muestra del estudio. Por lo tanto, parece que los atletas masculinos acostumbrados a la CAF pueden beneficiarse de la ingesta aguda de CAF, pero aún se desconoce el efecto de la ingesta aguda de CAF sobre el rendimiento del ejercicio de fuerza en mujeres habituadas a la CAF.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos agudos de diferentes dosis de CAF (3 y 6 mg/kg/p.c.) sobre la fuerza máxima (1MR) y la fuerza-resistencia local durante el ejercicio de press de banco en mujeres habituadas a la CAF. Presumimos que ambas dosis, 3 y 6 mg/kg/p.c., mejorarían la fuerza muscular, pero ninguna de las dosis investigadas mejoraría la fuerza-resistencia local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes del estudio

Veintiuna mujeres sanas y con entrenamiento de la fuerza (Tabla 1) se ofrecieron como voluntarias para participar en el estudio después de completar un formulario de consentimiento ético. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) libre de trastornos neuromusculares y musculoesqueléticos, (b) ingesta diaria habitual de CAF ≥ 3 mg/kg/p.c./día [41] (c) mínimo 2 años de experiencia en entrenamiento de la fuerza (para evitar una interferencia potencial del efecto de aprendizaje de la técnica del ejercicio de press de banco en los resultados de la investigación) y la participación en entrenamiento de la fuerza al menos 3 días a la semana durante los 6 meses anteriores a la inscripción en este estudio. Todas las participantes entrenaban el press de banco con barra como parte de sus rutinas regulares de entrenamiento de la fuerza. Las participantes fueron excluidas cuando padecían alguna patología o lesión o si estaban usando algún medicamento, suplemento dietético o ayudas ergogénicas que pudieran afectar potencialmente los resultados del estudio (por ej., Beta-alanina, creatina, suplementos pre-entrenamiento, etc.).

Tabla 1. Características de los participantes. Todos los datos se presentan como media \pm desviación estándar; 1MR: una repetición como máxima.

Age [years]	23.0 \pm 0.9
Body mass [kg]	59.0 \pm 6.6
Height [cm]	168.8 \pm 4.8
Body Fat [%]	19.8 \pm 3.3
Resistance training experience [years]	2.9 \pm 1.0
1 RM in bench press exercise [kg]	40.0 \pm 9.7
1 RM in bench press exercise: body mass ratio [%]	67.9 \pm 12.4
Habitual caffeine intake [mg/kg/b.m/day; mg/day]	5.8 \pm 2.6; 344.4 \pm 172.3
Energy intake [kcal]	2131.2 \pm 185.9
Protein [% of total energy intake]	20.4 \pm 3.0
Carbohydrate [% of total energy intake]	50.1 \pm 3.5
Fat [% of total energy intake]	29.5 \pm 2.3

Evaluación de la ingesta habitual de cafeína

La ingesta habitual de CAF se evaluó mediante una versión adaptada del Cuestionario de frecuencia alimentaria (FFQ) propuesto por Bühler y cols., [42]. Se emplearon medidas domésticas para evaluar individualmente la cantidad de alimentos consumidos durante el día y se obtuvieron durante las cuatro semanas anteriores al inicio del experimento, siguiendo las recomendaciones anteriores [41]. Se utilizaron tablas nutricionales para la construcción de la base de datos y un nutricionista experimentado calculó la ingesta diaria de CAF para cada participante.

Diseño experimental

Este estudio utilizó un diseño cruzado, doble ciego y aleatorizado en el que cada participante actuó como su propio control. En una sesión pre-experimental, las participantes realizaron un protocolo de familiarización que incluyó la evaluación del rendimiento de 1MR en el press de banco y una serie de press de banco realizada hasta el fallo con una carga del 50% de 1MR. Luego, las participantes se sometieron a tres sesiones experimentales idénticas con un intervalo de una semana entre sesiones para permitir una recuperación completa [43]. La única diferencia en estas sesiones experimentales fue la sustancia ingerida, que era un placebo (PLAC; harina para todo uso), 3 mg/kg/p.c. de CAF (CAF-3; Caffeine®, Olimp Laboratories, Debica, Polonia), o 6 mg/kg/p.c. de CAF (CAF-6). Seleccionamos estas dosis de CAF porque 3 mg/kg/p.c. representa la dosis mínima que afecta el rendimiento muscular durante el ejercicio de fuerza [9] mientras que 6 mg/kg/p.c. representa una gran dosis que muestra efectos ergogénicos de la CAF en el rendimiento de 1MR en el press de banco en mujeres [4]. En todas las pruebas, las sustancias estaban en cápsulas opacas que se ingirieron 60 minutos antes del inicio de la prueba para permitir la absorción de la CAF, ya que la concentración plasmática máxima de CAF se obtiene 15 y 120 minutos después de la ingesta oral [44]. Los procedimientos de cegamiento y aleatorización fueron realizados por un miembro del equipo de investigación que no participó directamente en la recopilación de los datos. En cada sesión experimental, las participantes realizaron una prueba de fuerza de 1MR [45, 46] y una prueba de fuerza-resistencia utilizando el ejercicio de press de banco [47]. Durante cada prueba, se midió la producción de potencia, la velocidad de la barra, el número de repeticiones realizadas y el tiempo bajo tensión. Se indicó a las participantes que mantuvieran sus rutinas habituales de entrenamiento de la fuerza y sus hábitos de hidratación y dieta durante el período de estudio, incluida la ingesta habitual de CAF. Además, se animó a las participantes a mantener su horario habitual de acostarse/despertarse, y también se les pidió que se abstuvieran de hacer ejercicio extenuante 24 h antes de la prueba y que se abstuvieran de la ingesta de CAF 12 h antes de cada prueba. Para replicar estas estandarizaciones, se pidió a las participantes que completaran un registro de hábitos de 24 horas el día anterior al primer ensayo y que siguieran el mismo patrón de hábitos antes del segundo y del tercer ensayo. Para controlar la dieta, las participantes registraron su ingesta de alimentos y bebidas utilizando el software "MyFitnessPal" [48] durante 24 h antes de los procedimientos de prueba. No hubo diferencias significativas en el consumo de cafeína ($p = 0.567$), la ingesta media de calorías ($p = 0.464$) ni en las proporciones de proteínas ($p = 0.848$), carbohidratos ($p = 0.991$) o grasas ($p = 0.979$) entre todas las tres pruebas

experimentales. Todas las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Fuerza y Potencia de la Academia de Educación Física en Katowice, Polonia.

Sesión de familiarización y test de máxima repetición

Una semana antes del experimento principal, las participantes realizaron una sesión de familiarización. Durante la sesión de familiarización, se realizaron la prueba preliminar de 1MR y la prueba de fuerza-resistencia. Las participantes llegaron al laboratorio a la misma hora del día que en las próximas sesiones experimentales. A su llegada, las participantes pedalearon en un ergómetro durante 10 minutos a una intensidad que resultaba en una frecuencia cardíaca de 120-140 lpm, seguida de un calentamiento general de la parte superior del cuerpo. A continuación, las participantes realizaron 10, 5 y 3 repeticiones del ejercicio de press de banco utilizando cargas entre el 20 y el 50% de su 1MR estimada. Posteriormente, las participantes femeninas ejecutaron repeticiones únicas del ejercicio de press de banco con un ritmo de movimiento voluntario e intervalos de descanso de 5 minutos entre las pruebas exitosas. La carga para cada intento posterior se incrementaba de 2.5 a 5 kg y el proceso se repitió hasta el fallo. Después de un intervalo de descanso de 5 min, se realizó la prueba preliminar de fuerza-resistencia con una carga del 50% de 1MR. La prueba de fuerza-resistencia finalizaba cuando ocurría una falla concéntrica momentánea. No se permitieron trajes de press de banco, ni cinturones de levantamiento de pesas u otras prendas de apoyo.

Protocolo experimental

Se utilizaron tres sesiones para las pruebas experimentales y los protocolos fueron idénticos excepto para la ingesta de PLAC o CAF. Todas las pruebas se llevaron a cabo entre las 9:00 y las 11:00 a.m. para evitar el efecto de la variación circadiana en los resultados de la investigación. El calentamiento general para las sesiones experimentales fue idéntico al utilizado para la sesión de familiarización. Después de la entrada en calor, las participantes realizaron la prueba de press de banco de 1MR para evaluar la fuerza muscular máxima de la parte superior del cuerpo. Para dicho test de 1MR, la primera serie de calentamiento incluyó de 6 a 8 repeticiones con el 50% de la 1MR determinada durante la sesión de familiarización. La segunda y tercera serie incluyeron 4 y 3 repeticiones con el 70% y el 80% de la 1MR previamente medida. Luego, las participantes completaron una repetición con el 95% de la 1MR previamente medida. En función de si la participante levantaba con éxito la carga o no, el peso se aumentaba o disminuía en 2.5 kg en intentos posteriores hasta que se obtenía la 1MR para una sesión en particular. La carga de 1MR se definió como la carga más alta completada sin la ayuda de los observadores [45, 46]. Se permitieron intervalos de descanso de cinco minutos entre los intentos de 1MR, y todos los valores de 1MR se obtuvieron en cinco intentos.

Después de un intervalo de descanso de 5 minutos, las participantes completaron repeticiones hasta el fallo muscular momentáneo con una carga equivalente al 50% de la 1MR de las participantes, ya que fue medida previamente en la prueba de fuerza muscular máxima. El uso del valor de 1MR medida en la prueba anterior permitió aislar el efecto de la CAF sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia. Se asumió que el final de la prueba de fuerza-resistencia ocurría cuando aparecía una falla concéntrica momentánea. La fase concéntrica y excéntrica de cada repetición se realizó a la máxima velocidad posible, pero sin hacer rebotar la barra en el pecho, sin detenerse intencionalmente en la transición entre las fases excéntrica y concéntrica [45,46,47].

Adquisición de los datos

Durante el test de fuerza máxima, sólo se registró la carga que representaba la 1MR de las participantes. Durante la prueba de fuerza-resistencia, se utilizó un sistema de transductor de posición lineal (Tendo Power Analyzer, Tendo Sport Machines, Trencin, Eslovaquia) para evaluar la velocidad de la barra durante cada repetición realizada en la prueba. Usando una carga externa establecida, el sistema calcula la potencia y la velocidad durante la fase concéntrica del movimiento. Estudios anteriores han demostrado una alta confiabilidad y validez de este transductor lineal (ICC = 0.970 a 0.988 [49]). Se registraron las siguientes variables para cada repetición:

REP - número de repeticiones [n].

TUT - tiempo bajo tensión [seg].

PP - potencia concéntrica máxima [W].

MP - potencia concéntrica media [W].

PV: velocidad concéntrica máxima [m/s].

MV - velocidad concéntrica media [m/s].

El valor máximo de la potencia y la velocidad de la barra se obtuvo a partir de la repetición con el valor más alto de producción de potencia/velocidad realizada durante la prueba de fuerza-resistencia. El valor medio de la potencia y la velocidad de la barra se obtuvo como el promedio de todas las repeticiones realizadas durante la prueba de fuerza-resistencia. Durante las sesiones experimentales, un operador certificado grabó todas las sesiones mediante una cámara. El tiempo bajo tensión y el número de repeticiones realizadas se obtuvieron manualmente a partir de los datos registrados.

Análisis estadístico

Se utilizaron los tests de Shapiro-Wilk, Levene y Mauchly para verificar la normalidad, homogeneidad y esfericidad de los datos de la muestra. La verificación de las diferencias entre los grupos PLAC vs CAF-3 y CAF-6 se realizó mediante un ANOVA de una vía para medidas repetidas. En el caso de un efecto principal significativo, se realizaron comparaciones *post-hoc* utilizando la prueba de Tukey. También se calcularon los efectos relativos porcentuales y los intervalos de confianza del 95%. Los tamaños de efecto (*d* de Cohen) se informaron cuando era apropiado. Los tamaños del efecto paramétrico se definieron como: grande ($d > 0.8$); moderado (d entre 0.8 y 0.5); pequeño (d entre 0.49 y 0.20) y trivial ($d < 0.2$). La significación estadística se estableció en $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando Statistica 9.1 y se presentaron como medias \pm SD (desviaciones estándar).

Resultados

El ANOVA de una vía reveló un efecto principal estadísticamente significativo de la sustancia para la 1MR ($F(2,19) = 14.74$; $p < 0.01$) y tiempo bajo tensión ($F(2,19) = 13.09$; $p < 0.01$; Tabla 2; Figura 1). Las pruebas *post-hoc* revelaron un aumento significativo de 1MR tras la ingesta de CAF-3 (41.68 ± 8.98 kg; $p = 0.01$) y de CAF-6 (42.98 ± 8.79 kg; $p < 0.01$) en comparación con el PLAC (40.48 ± 9.21 kg), así como una diferencia entre CAF-6 vs CAF-3 ($p < 0.01$; Tabla 3; Fig.1). Las pruebas *post-hoc* también revelaron un aumento significativo del tiempo bajo tensión después de la ingesta de CAF-6 en comparación con el PLAC (61.76 ± 15.39 vs 53.52 ± 11.44 s, respectivamente $p < 0.01$), y ausencia de cambios significativos en el tiempo bajo tensión entre CAF-3 y PLAC (57.05 ± 10.9 seg, $p = 0.20$). No hubo efectos principales significativos de la sustancia para el número de repeticiones realizadas ($p = 0.18$), la producción de potencia media ($p = 0.56$), la velocidad media de la barra ($p = 0.45$), la producción de potencia máxima ($p = 0.75$) y la velocidad máxima de la barra. ($p = 0.23$; Tabla 2) durante la prueba de fuerza-resistencia.

Tabla 2. Resumen de los datos de rendimiento en el ejercicio de press de banco después de la ingesta de un placebo (PLAC) o 3 (CAF-3) o 6 mg/kg/p.c. de cafeína (CAF-6) en mujeres habitadas a la cafeína.

Variable	PLAC (95 % CI)	CAF-3 (95 % CI)	CAF-6 (95 % CI)	<i>p</i>
1RM [kg]	40.48 \pm 9.21 (36.29 to 44.67)	41.68 \pm 8.98 (37.59 to 45.76)	42.98 \pm 8.79 (38.98 to 46.98)	< 0.01
REP [n]	33.05 \pm 6.59 (30.05 to 36.05)	33.81 \pm 5.46 (31.32 to 36.30)	35.29 \pm 6.99 (32.10 to 38.47)	0.18
TUT [s]	53.52 \pm 11.44 (48.3 to 58.7)	57.05 \pm 10.90 (52.1 to 62.0)	61.76 \pm 15.39 (54.8 to 68.8)	< 0.01
MP [W]	119 \pm 25 (107 to 130)	120 \pm 27 (107 to 132)	122 \pm 31 (108 to 137)	0.56
PP [W]	284 \pm 145 (219 to 350)	277 \pm 82 (239 to 314)	290 \pm 110 (240 to 340)	0.75
MV [m/s]	0.61 \pm 0.08 (0.58 to 0.65)	0.60 \pm 0.07 (0.56 to 0.63)	0.59 \pm 0.07 (0.56 to 0.63)	0.45
PV [m/s]	1.14 \pm 0.11 (1.09 to 1.19)	1.14 \pm 0.10 (1.09 to 1.18)	1.11 \pm 0.13 (1.05 to 1.17)	0.23

All data are presented as mean \pm standard deviation; CI confidence interval; 1RM one-repetition maximum; REP number of performed repetitions; TUT time under tension; MP mean power output; PP peak power output; MV mean bar velocity; PV peak bar velocity

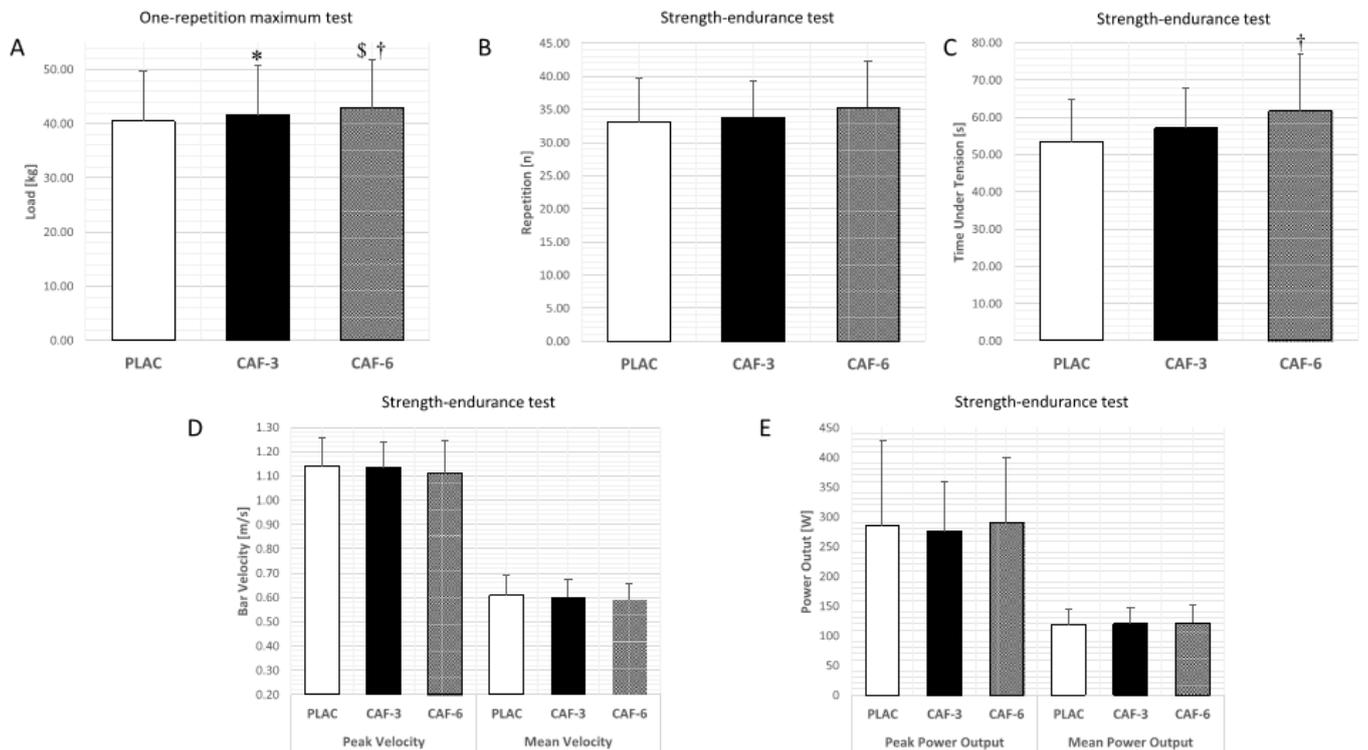


Figura 1. Efectos de dosis-respuesta de la ingesta de cafeína sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia.

a Carga en la prueba máxima de una repetición; **b** Número de repeticiones en la prueba de resistencia y fuerza; **c** Tiempo bajo tensión en la prueba de fuerza-resistencia; **d** Velocidad media y máxima de la barra en la prueba de fuerza-resistencia; **e** Potencia media y máxima en la prueba de fuerza-resistencia. Los datos son medias \pm SD para 21 mujeres habitadas a la cafeína. * Diferencia significativa ($p < 0.05$) entre CAF-3 y PLAC. † Diferencia significativa ($p < 0.05$) entre CAF-6 y PLAC. \$ Diferencia significativa ($p < 0.05$) entre CAF-3 y CAF-6.

Tabla 3. Diferencias por parejas en el rendimiento del press de banco después de la ingesta de un placebo (PLAC) o 3 (CAF-3) o 6 mg/kg/p.c. de cafeína (CAF-6) en mujeres habituadas a la cafeína.

Variable	Comparison	p	Effect size (Cohen's d)	Relative effect [%]
1RM [kg]	PLAC vs. CAF-3	0.01	0.11 – trivial	3.5
	PLAC vs. CAF-6	< 0.01	0.28 – small	6.9
	CAF-3 vs. CAF-6	< 0.01	0.14 – trivial	3.2
REP [n]	PLAC vs. CAF-3	0.80	0.13 – trivial	4.4
	PLAC vs. CAF-6	0.17	0.33 – small	9.5
	CAF-3 vs. CAF-6	0.45	0.24 – small	6.2
TUT [s]	PLAC vs. CAF-3	0.20	0.32 – small	8.6
	PLAC vs. CAF-6	< 0.01	0.61 – moderate	17.6
	CAF-3 vs. CAF-6	0.06	0.35 – small	8.7
MP [W]	PLAC vs. CAF-3	0.94	0.04 – trivial	0.8
	PLAC vs. CAF-6	0.36	0.11 – trivial	2.4
	CAF-3 vs. CAF-6	0.56	0.07 – trivial	1.6
PP [W]	PLAC vs. CAF-3	0.84	0.06 – trivial	1.8
	PLAC vs. CAF-6	0.93	0.05 – trivial	5.1
	CAF-3 vs. CAF-6	0.63	0.13 – trivial	3.9
MV [m/s]	PLAC vs. CAF-3	0.44	0.13 – trivial	-2.2
	PLAC vs. CAF-6	0.29	0.26 – small	-2.7
	CAF-3 vs. CAF-6	0.96	0.14 – trivial	0.1
PV [m/s]	PLAC vs. CAF-3	0.98	0.00	0.1
	PLAC vs. CAF-6	0.47	0.25 – small	-1.7
	CAF-3 vs. CAF-6	0.60	0.26 small	-1.5

All data are presented as mean \pm standard deviation; 1RM one-repetition maximum; REP number of performed repetitions; TUT time under tension; MP mean power output; PP peak power output; MV mean bar velocity; PV peak bar velocity

Discusión

Debido a la falta de datos sobre este tema, el objetivo de la investigación actual fue evaluar los efectos agudos de 3 y 6 mg/kg/p.c. de CAF sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia durante el ejercicio de press de banco en mujeres habituadas a la CAF. El principal hallazgo del estudio fue que, en comparación con la ingesta de PLAC, la ingesta aguda de CAF-3 y CAF-6 proporcionó un efecto ergogénico sobre el rendimiento de 1MR del press de banco. También hubo un aumento significativo en los valores de 1MR al comparar CAF-6 con CAF-3 ($p < 0.01$), lo que sugiere un efecto dosis-respuesta de la cafeína sobre la fuerza máxima en mujeres habituadas a la cafeína.

Además, la CAF-6 aumentó el TUT (tiempo bajo tensión muscular) durante el press de banco con un 50% de 1MR realizado hasta el fallo. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en REP, MV, PP, MP o PP entre las condiciones. Así, la ingesta aguda de CAF de 3 a 6 mg/kg/p.c. puede ser útil para mejorar de forma aguda la producción máxima de fuerza muscular en mujeres habituadas entrenadas con sobrecarga, pero probablemente no tendría un efecto en su fuerza-resistencia muscular.

Los aumentos en 1MR después de la ingesta de CAF en el presente estudio son consistentes con estudios previos en mujeres [4, 32] y hombres [1, 2]. Ambas dosis, CAF-3 y CAF-6, fueron efectivas para mejorar la fuerza máxima durante el press de banco, mientras que la magnitud del efecto fue trivial-pequeña en ambos casos. Si bien estos efectos sobre la fuerza muscular máxima pueden considerarse menores en términos estadísticos, la magnitud del beneficio (3.0 a 6.2% para CAF-3 y CAF-6, respectivamente) puede ser significativa en competiciones donde la victoria se obtiene por un margen de menor magnitud que la encontrada en este estudio [50]. Los estudios previos que evaluaron los efectos de la CAF sobre el rendimiento de 1MR en mujeres se llevaron a cabo en grupos no homogéneos en términos de ingesta diaria de CAF por parte de las participantes [4, 32]. En el estudio de Goldstein y cols.

[4], el consumo de CAF en los sujetos osciló entre 0 y 416 mg por día y en el de Sabblah y cols. [32], no se informó la ingesta diaria de CAF. En la investigación actual, la ingesta diaria autoinformada de CAF ascendió a 5.8 ± 2.6 mg/kg/p.c. / día (147 a 783 mg/día). En este caso, aunque el grupo también fue heterogéneo en cuanto a la ingesta diaria de CAF, esta es la primera investigación que utiliza una muestra de mujeres habituadas a la CAF, con al menos 3 mg/kg/p.c. por día. Sin embargo, todavía es posible que la diferencia en el nivel de habituación a la cafeína en las participantes del estudio actual desempeñara un papel en la variación de la respuesta entre individuos a la ingesta aguda de cafeína [51]. Según Svenningsson y cols. [52] y Fredholm y cols. [53], la ingesta habitual de CAF puede modificar las respuestas fisiológicas a

la ingesta aguda de CAF mediante la regulación positiva de los receptores de adenosina. Además, la exposición constante a la CAF podría afectar el metabolismo de la CAF al inducir una conversión acelerada de CAF en dimetilxantinas por el citocromo P450. Por lo tanto, la habituación progresiva a los beneficios para el rendimiento de la ingesta de CAF se ha reconocido en humanos cuando se consume de forma crónica [37, 54]. Sin embargo, Pickering y cols. [55] sugirieron que la reducción de los efectos ergogénicos de la CAF en consumidores habituales puede modificarse utilizando dosis superiores a la ingesta habitual diaria. En la presente investigación, las dosis agudas de CAF (especialmente CAF-3) no superaron el valor del consumo habitual.

Curiosamente, observamos un efecto dosis-respuesta de la cafeína en la 1MR (Fig. 1 a) y un efecto dosis-respuesta similar en REP y TUT (Fig. 1b c). Estos resultados indican que la magnitud del efecto ergogénico de la cafeína fue mayor con CAF-6 que con CAF-3 en distintas variables de rendimiento en el press de banco. Esto probablemente se asoció con el nivel de habituación a la cafeína en nuestra muestra de estudio (es decir, 5.8 ± 2.6 mg/kg/p.c.), ya que la dosis de CAF-6 era la única dosis cercana a su consumo diario de cafeína. Por lo tanto, en mujeres habituadas a la cafeína, el uso de una ingesta aguda de cafeína cercana a su ingesta diaria puede producir mayores beneficios ergogénicos que dosis más bajas de cafeína. Sin embargo, aunque la investigación actual encontró un efecto positivo de la CAF en los resultados de 1MR del press de banca en mujeres habituadas a la CAF, todavía es posible que el efecto de esta sustancia sea mayor en individuos no habitados. Hasta donde sabemos, sólo un estudio previo analizó los cambios en 1MR de las extremidades superiores en un grupo de usuarios habituales, pero incluyó a sujetos masculinos [1, 2]. El estudio de Wilk y cols. [1, 2] mostró un aumento en el rendimiento en el press de banco al realizar 1MR después de la ingesta de 9 y 11 mg/kg/p.c. de CAF en comparación con el PLAC, lo cual es consistente con nuestros resultados. Curiosamente, el mismo efecto ergogénico se encontró en la investigación actual en una muestra de participantes sólo de mujeres al usar una dosis más baja de CAF.

A pesar de que, en comparación con la ingesta del PLAC, la ingesta aguda de CAF-3 y CAF-6 proporcionó un efecto ergogénico en el rendimiento de 1MR en el press de banco, no observamos tal efecto en el número de REP realizadas durante ese ejercicio llegando al fallo muscular. Este resultado es compatible con el estudio en mujeres [4, 32] así como en hombres [1, 2, 31, 34]. Estos estudios no mostraron un impacto significativo de la ingesta aguda de CAF en el número de REP realizadas, independientemente del nivel de consumo habitual de CAF y la dosis de CAF utilizada. Por lo tanto, se puede sugerir que, similar al efecto de la ingesta de CAF sobre la fuerza máxima, el nivel de habituación a CAF no tiene ningún efecto sobre el número de REP realizadas después de la ingesta aguda de CAF. Sin embargo, esta conclusión sólo puede relacionarse con las mujeres, porque según Sabblah y cols. [32] existe una tendencia a un efecto menor de la CAF sobre el rendimiento de fuerza-resistencia en mujeres en comparación con los hombres, lo que requiere más investigación.

A pesar de que nuestro estudio no mostró cambios significativos en el número de REP realizadas entre las condiciones CAF-3 y CAF-6 en comparación con el PLAC, se registró un aumento significativo en el TUT después de la ingesta de CAF-6 en comparación con el PLAC. Tales cambios no se observaron después de la ingesta de la dosis más baja de CAF (3 mg/kg/p.c.). La mayoría de los estudios que han analizado el efecto de la ingesta de CAF sobre el volumen de ejercicio han demostrado un efecto ergogénico de la CAF sobre esta variable evaluada mediante el número de REP realizadas o el kilaje. Sólo un estudio anterior analizó el impacto de la ingesta de CAF sobre el TUT mediante el uso de un experimento transversal con un grupo que ingirió 5 mg/kg/p.c. de CAF o PLAC antes de realizar el ejercicio de fuerza-resistencia en el press de banco al 70% de 1MR realizado hasta el fallo muscular [7].

Esta investigación mostró una disminución significativa del TUT en el grupo que recibió CAF en comparación con el grupo de control, lo que contradice los resultados de nuestro estudio. Resultados contradictorios entre los estudios presentados y los de Wilk y cols. [7] se pueden relacionar con la diferencia de género de los sujetos (hombres vs mujeres). El sexo puede tener un efecto significativo sobre la morfología y la función del músculo esquelético [35], la utilización del sustrato muscular y la activación neuromuscular [56]. Las mujeres suelen tener una mayor proporción de fibras de tipo I, una mayor densidad capilar muscular [57] con distintas capacidades glucolíticas y oxidativas [58, 59]. Estas diferencias sexuales pueden ser muy beneficiosas para el ejercicio de resistencia impulsado por un metabolismo oxidativo lento [60]. Además, las fibras de tipo I se contraen con mayor tensión en respuesta a una mayor concentración de CAF que las fibras de tipo II, y se ha sugerido previamente que el beneficio ergogénico de la CAF puede ser más pronunciado en los músculos de contracción lenta [61,62,63]. Esto puede explicar parcialmente la naturaleza equívoca de los hallazgos anteriores sobre los efectos ergogénicos de la CAF y también puede explicar el aumento del TUT en el grupo de mujeres en comparación con la disminución del TUT observado para los hombres. Sin embargo, esta explicación sigue siendo especulativa hasta que una investigación adicional confirme un mayor efecto de la CAF en mujeres que en hombres en pruebas de fuerza-resistencia localizada porque la evidencia actual muestra beneficios ergogénicos similares en las actividades de resistencia en bicicleta [29, 30] y una tendencia a un efecto menor de la CAF sobre el rendimiento de fuerza-resistencia en mujeres [32]. Sin embargo, para evaluar la fuerza-resistencia localizada y probar la efectividad de los suplementos dietéticos durante el ejercicio de fuerza, se puede recomendar el uso de diseños cruzados y la evaluación no sólo del número de REP, sino también del TUT [7].

El diseño experimental empleado en esta investigación presenta algunas limitaciones que deben abordarse para mejorar la

aplicación de los resultados del estudio. Primero, usamos una muestra de conveniencia de veintiuna mujeres sanas y entrenadas en fuerza para determinar el efecto de la ingesta aguda de cafeína sobre la fuerza máxima y la fuerza-resistencia en mujeres habituadas a la cafeína. Aunque los resultados de este estudio mostraron un efecto ergogénico de la cafeína de pequeña magnitud para mejorar el rendimiento del press de banco en 1MR, la alta variabilidad interindividual en los valores de 1MR sugiere la necesidad de confirmar los resultados del experimento actual en estudios futuros con muestras más altas de tamaños o utilizando una población más homogénea, con valores similares de fuerza máxima. En segundo lugar, como la muestra del estudio estaba compuesta por personas con un nivel moderado de experiencia en ejercicios de fuerza, la traducción de los resultados de la investigación a mujeres altamente entrenadas en ejercicios de fuerza debe hacerse con precaución. En tercer lugar, las participantes de este estudio fueron seleccionadas porque eran al menos consumidoras moderadas de cafeína. Todavía es posible que el efecto ergogénico de la cafeína con respecto a la fuerza máxima y la fuerza-resistencia pueda ser mayor/menor en mujeres con diferentes niveles de habituación a la cafeína. Por último, este estudio no incluyó muestras de sangre y, por lo tanto, no tenemos datos para determinar si las participantes realizaron la prueba con la concentración máxima de cafeína en suero. Además, no podemos confirmar si la ingesta de 6 mg/kg/p.c. de CAF produjo concentraciones de cafeína en suero superiores a 3 mg/kg/p.c. de CAF. Se necesita más investigación para determinar la mejor dosis de suplementación con cafeína antes del ejercicio para mejorar el rendimiento del ejercicio de fuerza en mujeres según su nivel de entrenamiento y experiencia, la habituación a la cafeína y el tipo de ejercicio de fuerza utilizado.

Conclusiones

Una dosis aguda de CAF entre 3 y 6 mg/kg ingerida 60 min antes del ejercicio de fuerza aumentó la fuerza de 1MR y el TUT durante el ejercicio de press de banco realizado hasta el fallo concéntrico con el 50% de 1MR en mujeres habituadas a la CAF. Por el contrario, no se observaron cambios significativos en el número de REP realizadas, la potencia y la velocidad de la barra durante la prueba de fuerza-resistencia al 50% de 1MR. Observamos un efecto dosis-respuesta de la cafeína en 1MR y una tendencia a un efecto dosis-respuesta en REP y TUT, lo que sugiere que el uso de una dosis de cafeína cercana al consumo diario de cafeína de individuos puede recomendarse en atletas habituados a la cafeína. Este es un hallazgo novedoso, ya que es la primera investigación que examina la suplementación con CAF entre mujeres jóvenes entrenadas habituadas al consumo de CAF. Desde una perspectiva práctica, se puede recomendar el uso de CAF para aumentar la fuerza muscular en mujeres habituadas a la CAF, pero puede ser necesaria la deshabituación a esta sustancia para obtener un efecto ergogénico más amplio de la CAF en atletas de fuerza-resistencia. Aunque los resultados del presente estudio están asociados al ejercicio de fuerza, el beneficio ergogénico de la ingesta aguda de cafeína puede traducirse a otros deportes que requieren altos niveles de fuerza muscular en situaciones específicas deportivas (por ejemplo, rugby, deportes de combate, etc.). Teniendo en cuenta que una gran parte del entrenamiento de la fuerza incluye ejercicios basados en la fuerza-resistencia, puede ser necesario evitar el uso diario de la CAF para reducir la habituación al efecto ergogénico de la CAF sobre esta capacidad. Además, la deshabituación a la CAF puede ser útil para disminuir los inconvenientes asociados a la ingesta crónica de CAF, como nerviosismo excesivo, insomnio y diuresis [19]. En este sentido, la suplementación con CAF sólo debe recomendarse para los días de entrenamiento con una intensidad de ejercicio muy alta o antes de la competición. Los resultados de nuestro estudio y su aplicación se refieren únicamente a las extremidades superiores y, por tanto, no deben traducirse a otras formas, volúmenes o intensidades de ejercicio de fuerza.

Agradecimientos

Este estudio no hubiera sido posible sin el compromiso, el tiempo y el esfuerzo de nuestras participantes.

Financiamiento

Este proyecto ha sido apoyado por la beca de la Universidad Charles no UNCE/HUM/ 32 y la investigación estatutaria de la Academia Jerzy Kukuczka de Educación Física en Katowice, Polonia.

Aprobación de ética

El protocolo de estudio fue aprobado por el Comité de Bioética para la Investigación Científica, en la Academia de Educación Física en Katowice, Polonia, (3/2019) de acuerdo con los estándares éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1964 y sus posteriores enmiendas. Todas las participantes dieron su consentimiento informado antes de su inclusión en el estudio.

Interés en competencia

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original. (2021). <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00421-9>.

Cita Original

Filip-Stachnik, A., Wilk, M., Krzysztofik, M. et al. The effects of different doses of caffeine on maximal strength and strength-endurance in women habituated to caffeine. *J Int Soc Sports Nutr* 18, 25 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00421-9>