

Monograph

# Declaración de Posición de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva: Cafeína y Rendimiento

Richard B Kreider<sup>4</sup>, Darryn S Willoughby<sup>7</sup>, John L Ivy<sup>10</sup>, Colin Wilborn<sup>6</sup>, Tim Ziegenfuss<sup>2</sup>, Jeffrey R Stout<sup>8</sup>, John Taylor<sup>6</sup>, Bill Campbell<sup>5</sup>, Doug Kalman<sup>3</sup>, Erica R Goldstein<sup>1</sup>, B Sue Graves<sup>1</sup> y Robert Wildman<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Department of Exercise Science and Health Promotion, Florida Atlantic University, Boca Raton, FL 33431, Estados Unidos.

<sup>2</sup>The Center for Applied Health Sciences, Division of Sports Nutrition and Exercise Science, 3624 West Market Street, STE 104, Fairlawn, OH 44333, Estados Unidos.

<sup>3</sup>MRA Clinical Research, 6280 Sunset Drive #600, Miami, FL 33143, Estados Unidos.

<sup>4</sup>Department of Health & Kinesiology, Texas A&M University, College Station, TX 77843, Estados Unidos.

<sup>5</sup>University of South Florida, School of Physical Education and Exercise Science, Tampa, FL 33620, Estados Unidos.

<sup>6</sup>University of Mary Hardin-Baylor, Belton, TX 76513, Estados Unidos.

<sup>7</sup>Department of Health, Human Performance, and Recreation, Baylor University, Box 97313, Waco, TX 76798, Estados Unidos.

<sup>8</sup>Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, OK 73019, Estados Unidos.

<sup>9</sup>Department of Human Nutrition, College of Human Ecology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506, Estados Unidos.

<sup>10</sup>Department of Kinesiology and Health Education, the University of Texas, Austin, TX 78712, Estados Unidos.

<sup>11</sup>International Society of Sports Nutrition, 600 Pembroke Drive, Woodland Park, CO 80863, Estados Unidos.

<sup>12</sup>Nova Southeastern University, Fort Lauderdale-Davie, FL 33314, Estados Unidos.

## RESUMEN

Declaración de Posición: La posición de la Sociedad en relación a la suplementación con cafeína y el rendimiento deportivo, puede resumirse en los siguientes siete puntos: 1) La cafeína es eficaz para aumentar el rendimiento deportivo en atletas entrenados cuando se consume en dosis bajas a moderadas (~3-6 mg/kg) y en general, no produce ninguna mejora adicional en el rendimiento cuando se consume en dosis más altas ( $\geq 9$  mg/kg). 2) La cafeína ejerce un mayor efecto ergogénico cuando se consume en su forma anhidra que cuando se consume como café. 3) Se ha demostrado que la cafeína puede aumentar la vigilancia durante series extensas de ejercicio exhaustivo, así como también en períodos sostenidos de privación de sueño. 4) La cafeína es ergogénica para los ejercicios de resistencia sostenidos de máxima intensidad y se ha demostrado que es eficaz para el rendimiento en pruebas contrarreloj. 5) La suplementación con cafeína es beneficiosa para los ejercicios de alta intensidad, entre los que se incluyen los deportes de equipo como el fútbol y rugby, que se caracterizan por actividad intermitente dentro de un período de duración prolongada. 6) Hay diferencias en la bibliografía cuando se consideran los efectos de la suplementación con cafeína sobre el rendimiento de fuerza-potencia, y es necesario que se realicen investigaciones adicionales al respecto. 7) La bibliografía científica no apoya la diuresis inducida por la cafeína durante el ejercicio, ni algún cambio perjudicial en el balance de fluidos que afecte negativamente el rendimiento.

**Palabras Clave:** resistencia, fuerza, deportes de conjunto, SNC, metilxantina

# INTRODUCCION

---

Son numerosas las investigaciones respecto a los efectos fisiológicos de la cafeína en relación al rendimiento deportivo humano. De hecho, se siguen publicando investigaciones que sirven para delinear y expandir los conceptos científicos existentes. Las investigaciones sobre la cafeína en áreas de interés específicas, como resistencia, fuerza, deporte de equipos, recuperación e hidratación, son numerosas y a veces conflictivas. Por lo tanto, la intención de esta declaración de posición es resumir y resaltar la literatura científica, y guiar eficazmente a investigadores, practicantes, entrenadores y atletas sobre el modo más conveniente y eficaz para aplicar la suplementación con cafeína según el tipo, intensidad y duración del ejercicio.

## CAFEINA Y MECANISMO DE ACCION

---

Para entender el efecto de la suplementación con cafeína en detalle, es necesario discutir su naturaleza química y cómo se absorbe fisiológicamente el compuesto en el cuerpo. La cafeína se absorbe rápidamente a través del tracto gastrointestinal [1-3] y se mueve a través de las membranas celulares con la misma eficacia que se absorbe y circula por los tejidos [4,5]. La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) se metaboliza en el hígado y a través de la acción de enzimas, se divide en tres metabolitos: paraxantina, teofilina y teobromina [1, 6-8]. Niveles elevados pueden aparecer en el torrente sanguíneo luego de 15-45 min del consumo y las concentraciones máximas se observan una hora después de la ingestión [1, 3, 9, 10]. Debido a su solubilidad en lípidos, la cafeína cruza también la barrera remato-encefálica sin dificultad [5,11]. Entretanto, la cafeína y sus metabolitos son excretados por los riñones, donde aproximadamente el 3-10%, se elimina del cuerpo sin cambios, a través de la orina [1, 7, 12]. A causa de la captación por los tejidos y al *clearance* urinario, las concentraciones circulantes disminuyen 50-75% dentro de la 3-6 horas posteriores al consumo [3,13]. Así, el *clearance* del torrente sanguíneo es análogo a la velocidad en que la cafeína es absorbida y metabolizada.

Se han propuesto numerosos mecanismos para explicar los efectos de la suplementación con cafeína en el rendimiento deportivo. Sin embargo, varias revisiones extensas han establecido que el mecanismo más significativo es que la cafeína compite con la adenosina por sus sitios en los receptores [5, 13, 14]. De hecho, en una revisión exhaustiva sobre cafeína y rendimiento deportivo, se declaró que "dado que la cafeína atraviesa las membranas de las células nerviosas y musculares, sus efectos pueden ser más nerviosos que musculares.

Aun cuando el efecto principal de la cafeína sea muscular, puede tener efectos más poderosos en aspectos diferentes al metabolismo, en el proceso de excitar y acortar el músculo [15].

Claramente, uno de los sitios principales de acción de la cafeína es el sistema nervioso central (SNC). Es más, la teofilina y paraxantina también pueden contribuir al efecto farmacológico sobre el SNC a través de vías de señalización específicas [5]. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, raramente existe un solo mecanismo que explique totalmente los efectos fisiológicos de cualquier suplemento nutritivo. Dado que la cafeína atraviesa fácilmente la barrera hemato-encefálica y las membranas celulares de todos los tejidos del cuerpo [15], es sumamente difícil determinar en qué sistema en particular, (es decir, nervioso o músculo esquelético) la cafeína ejerce el mayor efecto [15].

Además de su impacto sobre el SNC, la cafeína puede afectar la utilización de sustratos durante el ejercicio. En particular, los resultados de las investigaciones sugieren que durante el ejercicio, la cafeína actúa disminuyendo la dependencia de la utilización del glucógeno y aumentando la dependencia de la movilización de los ácidos grasos libres [16-19]. Essig y colegas [19] informaron un aumento significativo en la oxidación de grasas intramusculares durante la realización de ejercicios de piernas en bicicleta ergométrica, cuando los sujetos consumieron cafeína en una dosis aproximada de 5 mg/kg. Adicionalmente, Spriet et al. [18] demostraron que luego de la ingestión de una dosis alta de cafeína (9 mg/kg) la glucógenolisis neta se redujo al comienzo del ejercicio (ciclismo hasta el agotamiento a 80% de  $VO_{2max}$ ). Por consiguiente, el rendimiento aumentó significativamente y los resultados de este estudio [18] sugieren una mayor dependencia de la oxidación intra y extramuscular de grasas.

Otro posible mecanismo a través del cual la cafeína puede mejorar el rendimiento en resistencia es a través de la secreción de  $\beta$ -endorfinas. Laurent et al. [20] demostraron que cuando se comparó con el grupo placebo, el grupo que consumió cafeína (6 mg/kg) aumentó significativamente las concentraciones plasmáticas de  $\beta$ -endorfina luego de dos horas de ciclismo a 65%  $VO_{2pico}$  y una serie subsecuente de un ejercicio de esprint de alta intensidad. Se ha establecido que durante el ejercicio las concentraciones de endorfinas plasmáticas aumentan y sus propiedades analgésicas podrían producir una disminución en la percepción de dolor [21].

La investigación también ha demostrado que la cafeína puede producir alteraciones de la función neuromuscular y/o contracción del músculo esquelético [22, 23]. Por ejemplo, Kalmar y Cafarelli [22] indicaron que una dosis moderada de cafeína (6 mg/kg) aumentó significativamente tanto la fuerza isométrica de extensión de piernas como también el tiempo hasta la fatiga durante la extensión isométrica de piernas submáxima.

El consumo de cafeína también promueve una respuesta termogénica significativa. De hecho, el consumo de cafeína en una dosis de 100 mg produjo un efecto termogénico significativo a pesar de que los sujetos que participaron en esta investigación particular tenían un consumo de cafeína habitual de 100-200 mg por día [24]. El aumento en el gasto energético luego de la ingestión de cafeína no había regresado a los valores iniciales luego de 3 horas posteriores al consumo.

En conjunto, los resultados de estudios de investigación sobre suplementación con cafeína y rendimiento físico, indican un efecto combinado sobre los sistemas central y periférico. Por consiguiente, es posible que la cafeína actúe en el sistema nervioso central como un antagonista de la adenosina, pero también podría tener un efecto sobre el metabolismo de sustratos y sobre la actividad neuromuscular. Siguen surgiendo investigaciones en todas las áreas de la suplementación con cafeína y es necesario comprender que, como suplemento, la cafeína tiene una amplia gama de efectos fisiológicos sobre el cuerpo que pueden o no producir una mejora en el rendimiento. La suplementación con cafeína puede mejorar el rendimiento deportivo pero esto depende de varios factores entre los que se incluyen, aunque no son los únicos, la condición del atleta, el ejercicio (es decir tipo, intensidad, duración) y la dosis de cafeína.

## LA CAFEINA Y EL RENDIMIENTO COGNITIVO

---

Se ha demostrado que la cafeína mejora el rendimiento en diferentes tipos diferentes de ejercicios entre los que se incluyen los ejercicios de resistencia [8, 16, 25-28], actividad deportiva de equipos de alta-intensidad [29-34] y rendimiento de fuerza-potencia [30,35]. Adicionalmente, el uso de cafeína también ha sido estudiado por su efecto, en las operaciones de las fuerzas especiales que requieren rutinariamente personal militar para atravesar períodos de vigilancia sostenida y alerta. En una serie de investigaciones, McLellan et al. [36-38] analizaron los efectos de la cafeína en las unidades militares de fuerzas especiales, que rutinariamente realizan entrenamiento y operaciones en la vida real en condiciones de privación de sueño, dónde la vigilancia y la observación diligente son cruciales para el cumplimiento de la función.

En las investigaciones de McLellan et al. [36-38], los soldados realizaron una serie de tareas durante varios días dónde las oportunidades para dormir disminuyeron excesivamente. Las pruebas experimentales incluyeron una carrera de 4 o 6,3 km, así como también pruebas de puntería, observación y reconocimiento y la vigilancia psicomotora [36-38].

Durante los períodos de vigilancia sostenida, se proporcionó cafeína a los sujetos en una cantidad de 600-800 mg en forma de chicle. El suplemento de cafeína se consumió de esta manera porque se ha demostrado que se absorbe más rápidamente, que si se proporcionara en forma de píldora, por la proximidad con el tejido bucal [39]. En los tres estudios [36-38], la vigilancia, o se mantuvo, o aumentó en las condiciones donde se consumió cafeína en comparación con el placebo.

Adicionalmente, las mediciones de rendimiento físico medidas como tiempos de carrera y realización de una pista con obstáculos, también mejoraron por los efectos del consumo de cafeína [36, 38].

Lieberman et al. [40] estudiaron los efectos de la cafeína sobre el rendimiento cognoscitivo durante la suspensión de sueño en marinos de las fuerzas especiales de Estados Unidos (*U. S. Navy Seals*) [40].

Sin embargo, en esta investigación [40] a los participantes se les asignaron dosis diferentes de cafeína al azar en forma de cápsula, que contenían 100, 200 o 300 mg. De una manera similar a las investigaciones previas, los participantes recibieron un tratamiento con cafeína o con un placebo, y una hora luego del consumo realizaron una batería de evaluaciones relacionadas a la vigilancia, tiempo de reacción, memoria activa y aprendizaje y memoria motores. Además, los participantes fueron evaluados ocho horas post-consumo, de manera similar a un estudio realizado por el Bell et al. [41], para analizar la duración del efecto del tratamiento en función de la vida media de la cafeína.

Como era de esperarse, la cafeína produjo efecto más significativo en tareas relacionadas al estado de alerta [40]. Por otra parte, los resultados también fueron significativos para valoraciones relacionadas a la vigilancia y al tiempo de reacción de decisión, en aquellos participantes que recibieron el tratamiento con cafeína. De particular importancia es el resultado *post-hoc* para las dosis de 200 y 300 mg.

Específicamente no se observó una ventaja estadística de consumir 300 mg o 200 mg [40]. En otras palabras, los sujetos

que recibieron la dosis de 300 mg (~4 mg/kg) no tuvieron un rendimiento significativamente mayor que los participantes que recibieron la dosis de 200 mg (~2.5 mg/kg).

Entretanto, una dosis de 200 mg produjo mejoras significativas en el rendimiento, en comparación con la dosis de 100 mg. De hecho, era evidente a partir de los resultados *post-hoc* que la dosis de 100 mg no provocaba resultados estadísticamente diferentes en ningún punto, ni aportaba más ventajas en el rendimiento que el placebo. Estos estudios [36-38,40] demostraron los efectos de la cafeína sobre la vigilancia y el tiempo de reacción en un estado de privación de sueño, en una población distinta y altamente entrenada. Estos resultados sugieren que la población general podría beneficiarse de efectos similares de la cafeína, pero en dosis moderadas, en condiciones similares donde el sueño este limitado.

Un resultado adicional del estudio de Lieberman et al. [40] es el hecho que la cafeína continuó aumentando el rendimiento en lo que se refiere a la adquisición repetida (valoración del aprendizaje motor y de la memoria a corto plazo) y fatiga en el Perfil de Estado de Animo, ocho horas después del consumo. Estos resultados concuerdan con lo observado por Bell et al. [41], donde se evaluó la capacidad aeróbica 1, 3 y 6 horas luego del consumo de cafeína (6 mg/kg). La cafeína ejerció un efecto positivo en el rendimiento de participantes clasificados como consumidores ( $\geq 300$  mg/d) y no consumidores ( $\leq 50$  mg/d); sin embargo, los no consumidores presentaron un efecto del tratamiento 6 horas post-consumo, que no se observó en los usuarios ya que este grupo tuvo un aumento significativo en el rendimiento 1 y 3 horas post-consumo. En conjunto, los resultados de estos estudios [40,41] aportan algunas indicaciones y aplicaciones para el consumidor general y para los deportistas. Específicamente, si bien, se considera que la cafeína tiene una vida media de 2,5-10 horas [42], sus potenciales efectos de mejora del rendimiento, se extenderían más allá de éste punto debido a que la respuesta y habituación individual varía mucho entre los consumidores.

Finalmente, Lieberman y colegas [40] sugirieron que los efectos de mejora de rendimiento de la suplementación con cafeína sobre el aprendizaje motor y memoria a corto plazo, podrían estar relacionados con una mayor capacidad de mantener la concentración, y no con un efecto real sobre la memoria que se está utilizando. Lieberman et al. [40] atribuyeron los efectos de la cafeína a acciones sobre el sistema nervioso central, específicamente a la habilidad de suplemento de regular las acciones inhibitorias, especialmente las de la adenosina. De hecho, se sugirió que dado que la cafeína tenía la capacidad de actuar como antagonista de la adenosina, las alteraciones en la excitación explicarían el efecto discriminante del compuesto sobre los comportamientos relacionados a la vigilancia, fatiga y alerta [40].

Recientemente, también se sugirió que la cafeína podría afectar positivamente tanto el rendimiento cognoscitivo como el rendimiento en resistencia [25].

Ciclistas entrenados que eran consumidores moderados de cafeína (aprox. 170 mg/d) participaron en tres pruebas experimentales que consistieron en 150 min de ciclismo a 60% de  $VO_{2max}$ , seguidos por cinco minutos de descanso y luego ejercicios de ciclismo hasta el agotamiento a 75% de  $VO_{2max}$ . En tres días diferentes, los sujetos consumieron una barra de rendimiento disponible comercialmente que contenía 44.9 g de hidratos de carbono y 100 mg de cafeína, un carbohidrato isocalórico sin cafeína o agua saborizada. Los resultados de una serie repetida de pruebas de función cognoscitiva favorecieron al tratamiento con cafeína en que los sujetos tuvieron un desempeño significativamente más rápido en la Tarea de Procesamiento de Información Visual Rápida y *Stroop* después de un ejercicio de ciclismo de 140 min de intensidad submáxima y después de ejercicios de ciclismo hasta el agotamiento. Además, aumentó el tiempo hasta el agotamiento en los participantes que pertenecían al tratamiento con cafeína, en comparación con quienes habían consumido la barra descafeinada y el agua saborizada [25].

En conjunto, la literatura que analiza los efectos de la cafeína sobre el ejercicio anaeróbico es ambigua, ya que algunos estudios informan beneficios [29-32, 43, 44] y otros sugieren que la cafeína no proporciona una ventaja significativa [45, 46]. Como en todas las investigaciones sobre nutrición deportiva, los resultados pueden variar, dependiendo del protocolo utilizado, y particularmente, dependen del estado de entrenamiento del atleta y también de la intensidad y duración de ejercicio. Por ejemplo, Crowe et al. [47] estudiaron los efectos de la cafeína en una dosis de 6 mg/kg sobre los parámetros cognoscitivos en individuos que practicaban deportes de equipo y que eran activos recreacionalmente, que realizaron dos series máximas de 60 segundos de ciclismo en una bicicleta ergométrica con frenos de aire. En esta investigación [47], participantes desentrenados, moderadamente habituados al consumo de cafeína (80-200 mg/d) fueron agrupados en tres grupos (cafeína, placebo, control) y fueron sometidos a evaluaciones cognoscitivas antes de consumir cada tratamiento, luego de la ingestión, a aproximadamente 72-90 min, e inmediatamente después de realizar ejercicio. La evaluación cognoscitiva consistió en tests de tiempo de reacción visual simples y de repetición de números. Los participantes realizaron dos tests de ciclismo máximos de 60 segundos intercalados con tres min de descanso pasivo. Los resultados no coincidieron con lo observado en otros estudios donde se investigaron los parámetros cognitivos y el uso de cafeína [25,36-38,40], en que la cafeína no tuvo impacto significativo en el tiempo de reacción o en la repetición de números y no se observó un beneficio adicional en las mediciones de potencia. De hecho, en este estudio [47], el tratamiento con cafeína produjo tiempos significativamente mas lentos para alcanzar la potencia máxima en la segunda serie de ciclismo máximo.

Por otra parte, Foskett y colegas [48] investigaron los beneficios potenciales de la cafeína sobre los parámetros cognoscitivos y la actividad de esprint intermitente y determinaron que una dosis moderada (6 mg/kg) de cafeína aumento la precisión en el pase y control de pelotas de un jugador de fútbol, atribuyendo así el aumento en la exactitud a una mejora en la destrezas motoras finas.

Sobre la base de algunas de las investigaciones citadas anteriormente, parecería que la cafeína es una ayuda ergogénica eficaz para individuos involucrados en las unidades militares de las fuerzas especiales o para quienes estén sometidos frecuentemente a situaciones de estrés entre las que se incluyen, pero no se limitan a, períodos extendidos de privación de sueño. En estas condiciones, se ha demostrado que la cafeína mejora los parámetros cognoscitivos de concentración y vigilancia. Además se ha observado que la cafeína también puede beneficiar físicamente y cognoscitivamente a atletas de resistencia. Sin embargo, las investigaciones son conflictivas cuando se extrapolan los beneficios de la cafeína a la cognición y a series de corta duración y alta intensidad. La discusión continuará con el análisis de los efectos de la cafeína y el ejercicio de alta-intensidad, en individuos entrenados y no-entrenados, que podrían explicar parcialmente una diferencia en la bibliografía, ya que pertenece al ejercicio de alta-intensidad de corta duración.

## CAFEINA Y CARBOHIDRATOS

Una gran cantidad de investigaciones han aportado evidencia sólida que apoya la teoría que el principal modo de acción ergogénico de la cafeína es sobre el SNC. Sin embargo, la cafeína también puede tener una naturaleza ergogénica a través del aumento de la lipólisis y de la disminución de la dependencia de la utilización de glucógeno. En 1979, Ivy et al. [16] publicaron una investigación que apoyó éste último concepto [16]. Ciclistas entrenados fueron sometidos a dos horas de ciclismo isocinético y recibieron tres tratamientos en diferentes ocasiones: cafeína, polímero de glucosa y placebo. La cafeína fue consumida en una dosis absoluta de 500 mg, 250 mg un hora antes de los ejercicios de ciclismo y el resto en dosis divididas 15 min antes del comienzo del ejercicio. Los resultados indican una ventaja significativa en el trabajo producido luego del consumo de cafeína. Específicamente, el trabajo producido fue 7,4% superior al control y 5,3% mayor que el tratamiento con el polímero de glucosa. A mitad del ejercicio de dos horas de ciclismo, la oxidación de grasas aumentó significativamente por encima de los valores observados en los tratamientos control y con glucosa. La oxidación de grasas se mantuvo durante la última hora de ejercicio y los autores sugirieron, que esta utilización de sustratos fue en parte responsable de la mayor producción de trabajo. Más aún, luego del consumo de cafeína y de una serie de dos-horas de ciclismo isocinético, los niveles de ácidos grasos libres en plasma (FFA) eran 30% mayores que los observados en el tratamiento con placebo.

Los resultados del estudio de Ivy et al. [16] y de otros estudios [18, 49], aportan un argumento persuasivo sobre el uso de cafeína como un medio para aumentar la producción de trabajo a través de una mayor oxidación de grasas. Sin embargo, Ivy et al. [16] también sugirieron que la cafeína ejercía un efecto sobre el SNC. Específicamente, cuando los sujetos consumían cafeína, comenzaban la sesión de ejercicios a una mayor intensidad, pero no percibían que este esfuerzo era diferente al esfuerzo que realizaban en las condiciones donde consumían el placebo o la glucosa. Además, Ivy et al. [16] también sugirieron que los participantes podían realizar actividad en esta mayor tasa de trabajo debido a una mayor capacidad de apoyarse en el metabolismo de las grasas.

En un estudio realizado por Jackman et al. [50] los sujetos consumieron, o una dosis de cafeína de 6 mg/kg o un placebo, y realizaron trabajo de alta-intensidad y mantuvieron constantes la producción de potencia y el trabajo total realizado. En total, los sujetos realizaron aproximadamente 4-6 min de trabajo de intensidad alta (series de ejercicios de ciclismo de 2-min separadas por 6 min de descanso y un pedaleo final hasta el agotamiento voluntario).

Los resultados indicaron un aumento de la epinefrina plasmática en el tratamiento con cafeína que es consistente con otro estudio de suplementación con cafeína [8, 29, 46, 51, 52]. Aunque la epinefrina promueve la glucogenolisis, los datos de este estudio demostraron un aumento en el lactato muscular y en la epinefrina plasmática, sin un subsecuente efecto en la glucogenolisis muscular neta luego de las dos primeras series de ejercicios de ciclismo máximo controlado. La epinefrina puede regular por incremento la lipólisis en los adipocitos así como la glucogenolisis en el músculo e hígado; por lo tanto, resulta algo ambigua la relación directa entre los incrementos de la hormona y el aumento en el catabolismo de sustratos. En el año 2000, Greer et al. [53] informaron que la teofilina es más potente que la cafeína como antagonista de la adenosina.

Considerando que la adenosina puede inhibir la lipólisis in vivo [54], el consumo de 4,5 mg/kg de teofilina produce aumentos en los niveles de glicerol en la sangre, aún mayores que los de la cafeína en dosis de 6 mg/kg y que el placebo. De hecho, es posible que la teofilina y la cafeína regulen el metabolismo de sustratos a través de mecanismos diferentes a los inducidos por las catecolaminas [53].

Graham y Spriet [8] analizaron los efectos del consumo de diferentes dosis de cafeína de 3, 6, y 9 mg/kg sobre la capacidad de resistencia (correr hasta el agotamiento al 85% de  $VO_{2max}$ ). Los resultados de este estudio demostraron una mejora en el rendimiento, pero sólo con las dosis de 3 y 6 mg/kg.

Concurrentemente, las dosis de 6 y 9 mg/kg fueron las únicas cantidades medidas que produjeron mayores niveles de epinefrina plasmática, con aumentos significativos en el glicerol y los ácidos grasos libres sólo en la dosis de 9 mg/kg. Por consiguiente, los resultados de esta investigación presentan una paradoja real en donde una dosis baja de cafeína (3 mg/kg) fue la adecuada para mejorar el rendimiento, pero no provocó aumentos en los niveles de epinefrina o efectos subsecuentes de movilización de ácidos grasos libres.

Hulston y Jeukendrup [55] publicaron datos que indicaron que 5,3 mg/kg de cafeína ingeridos junto con una solución de 6,4% de glucosa, no ejercieron un efecto significativo en los niveles crecientes de FFA o en la concentración de glicerol en el plasma, y tampoco aumentaron sustancialmente las tasas de oxidación de grasas en el cuerpo entero durante ejercicios de resistencia, aunque el rendimiento mejoró significativamente con la cafeína más la solución de glucosa [55]. Por consiguiente, los resultados de algunos estudios de investigación, aportan pruebas para la premisa que indica que la cafeína puede aumentar el rendimiento a través de la alteración en la utilización de sustratos [16, 18], mientras que los resultados de otras investigaciones sugieren que existen otros mecanismos de acción [50, 56, 57].

El consumo de carbohidratos durante el ejercicio puede disminuir la dependencia del cuerpo de las reservas endógenas de carbohidratos, y producir un mayor rendimiento de resistencia [58, 59]. Por lo tanto, es beneficioso determinar un método óptimo para aumentar las tasas de incorporación y oxidación de carbohidratos exógenos. La incorporación de carbohidratos exógenos, está determinada por diferentes factores entre los que se incluyen, pero no son los únicos, la tasa de vaciamiento gástrico y la absorción intestinal [58]. Sin embargo, se ha sugerido que durante el ejercicio, la absorción intestinal tendría la mayor influencia en la tasa de oxidación de carbohidratos exógenos [58,60].

En 1987 Sasaki et al. [61] informaron que en corredores de fondo entrenados, 100 g de sacarosa junto con aprox 400 mg (~6 mg/kg) de cafeína, no tuvieron ningún efecto aditivo sobre el rendimiento de resistencia, en comparación con el consumo de cualquier sustrato solo. Además, Jacobson et al. [62], en un estudio con ciclistas entrenados, informaron que el consumo de cafeína (6 mg/kg) junto con un carbohidrato (2,6 g/kg), no produjo ningún aumento significativo en el rendimiento del ejercicio ni en la utilización de sustratos.

Sin embargo, Yeo et al. [63] informaron que durante los 30 min finales de una serie de ejercicios de ciclismo en estado estable (64% de  $VO_{2max}$ ) de 2 horas, el consumo de una solución de 5,8% de glucosa (48 g/hr), más 5 mg/kg de cafeína, aumentó significativamente la oxidación de carbohidratos exógenos (~26% superior que la glucosa sola). Estos [63] y otros [64] autores sugirieron que esto se debía a una mayor absorción de glucosa intestinal.

Finalmente, Hulston et al. [55] observaron que el consumo de una solución de 6,4% de glucosa más una dosis moderada de cafeína (5,3 mg/kg), aumentó significativamente el rendimiento en pruebas contrarreloj de ciclistas entrenados. La solución de cafeína-glucosa mejoró el rendimiento en un 9% en comparación con el placebo y 4,6% en comparación con la glucosa. Sin embargo, también se informó que el consumo de cafeína no ejerció ningún efecto sobre la oxidación de carbohidratos exógenos [55].

Además, Kovacs et al. [56] demostraron que después de consumir la cafeína en una dosis de 225 mg o 320 mg junto con una solución de carbohidrato-electrolitos, los participantes tuvieron mejores tiempos de rendimiento en un protocolo con pruebas contrarreloj. En contraste, Desbrow y colegas [65] observaron que una dosis baja de cafeína (1,5 y 3 mg/kg), además del consumo de glucosa cada 20 min, no ejercieron ningún efecto significativo en el rendimiento de una prueba contrarreloj y la cafeína en combinación con la glucosa, tampoco afectó la oxidación máxima de carbohidratos exógenos [65].

Las estrategias que podrían aumentar la absorción y la oxidación de carbohidratos exógenos durante el ejercicio están claramente descritas en la literatura [58-60]. El efecto de la ingesta combinada de cafeína y carbohidratos exógenos, sobre los ejercicios de resistencia se conoce con menos detalle. Por consiguiente, las futuras investigaciones deberían continuar investigando este potencial efecto ergogénico, así como también cualquier mecanismo fisiológico correspondiente.

## CAFEINA, CARBOHIDRATOS Y RECUPERACION

Recientemente, la combinación de cafeína y carbohidratos ha sido evaluada como un medio potencial para mejorar la

recuperación, a través del aumento en la tasa de síntesis de glucógeno post-ejercicio. En 2004, Battram et al. [66] demostraron que luego de los ejercicios que consumen carbohidratos, la suplementación con carbohidratos exógenos y cafeína no afectaba la producción, ni de proglucógeno (partículas pequeñas) ni de macroglucógeno (partícula grande, soluble en ácidos). Se postuló que los fragmentos responden de manera diferente a la fase de la recuperación de ejercicio y por lo tanto, a la resíntesis del glucógeno.

Antes y durante la realización de ejercicio exhaustivo, los sujetos consumieron un total de 6 mg/kg de cafeína o placebo en dosis divididas en forma de cápsula. Luego del ejercicio y a lo largo de 5-horas del período de recuperación, los sujetos consumieron en total 375 g de carbohidratos exógenos. Las biopsias musculares y las muestras de sangre, revelaron que la ingestión de cafeína no obstaculizó la resíntesis de proglucógeno o macroglucógeno luego de ejercicio exhaustivo, donde se consumió glucógeno [66]. Él indispensable reconocer que cada persona puede responder de manera diferente a los suplementos y compuestos que contienen cafeína. Un individuo en reposo, e incluso de naturaleza sedentaria, probablemente tendrá una respuesta diferente en comparación con un atleta entrenado acondicionado o una persona físicamente activa. Según los datos presentados por Battram et al. [66], la suplementación con cafeína seguida por la ingesta de carbohidratos exógenos, en la fase de recuperación no impactó negativamente en la resíntesis de glucógeno.

En un estudio más reciente, Pedersen et al. [67] investigaron el papel de la cafeína más carbohidratos como un método post-ejercicio para aumentar la síntesis de glucógeno. Luego de un ayuno de toda la noche, ciclistas entrenados y triatletas realizaron ejercicios exhaustivos en bicicleta ergométrica a 70% de  $VO_{2pico}$ . Siguiendo un diseño transversal, los sujetos consumieron 4g CHO/kg (geles, las barras deportivas, bebidas que contienen carbohidratos) y en otro día 4g CHO/kg de la misma forma, además de los 8 mg/kg de cafeína que se agregaron a una bebida deportiva que contenía carbohidratos y fueron consumidos en dos dosis separadas. Luego de un período de 4 horas de recuperación, obtuvieron resultados contundentes en los cuales la resíntesis de glucógeno aumentó un 66% en el tratamiento con carbohidrato-cafeína, en comparación con la condición de carbohidrato solo [67].

Los datos presentados en estos estudios [66, 67] indicaron que la cafeína no es perjudicial para la repleción del glucógeno y en combinación con carbohidratos exógenos puede realmente reforzar la síntesis en la etapa de recuperación de los ejercicios.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, debe considerarse que la mayoría de los atletas o individuos entrenados recreacionalmente, escogerían consumir el suplemento con cafeína antes de la competencia, con el propósito de aumentar el rendimiento. Es más, el *clearance* de cafeína en el torrente sanguíneo se produce entre 3 y 6 horas y puede extenderse más allá de éste tiempo dependiendo del individuo. Por consiguiente, el consumo de cafeína antes y después de los ejercicios debería ser establecido con precisión en el tiempo, de modo de no perjudicar el patrón de sueño de los atletas, que por si solo, podría afectar negativamente la recuperación global.

## CAFEINA: FORMA, DOSIS Y EJERCICIOS DE RESISTENCIA

### Café con Cafeína, Cafeína Anhidra y Ejercicio de Resistencia

Se han explorado varios métodos de suplementación con cafeína y los resultados han aportado una visión considerable sobre la forma y dosificación adecuada del compuesto. Uno de los estudios mas reconocidos, publicados por Graham et al. [26], demostró una serie de efectos cuando la cafeína (4,45 mg/kg) se consumía en diferentes formas. En éste estudio, corredores aeróbicamente entrenados realizaron cinco carreras en cinta rodante hasta el agotamiento a aproximadamente 85% de  $VO_{2max}$ , después de haber recibido uno de los siguientes tratamientos, 60 minutos antes: Cápsulas de cafeína más agua, café normal, café descafeinado, café descafeinado más cafeína en forma de cápsula y placebo. La cafeína en forma de cápsula aumentó significativamente la capacidad de trabajo, lo que les permitió correr 2-3 km adicionales [26], en comparación con los otros cuatro tratamientos.

Graham y colegas [26] postularon que quizás otros compuestos no identificados dentro del café hacen que la cafeína sea menos eficaz que cuando se consume en forma anhidra. Esta sugerencia fue apoyada por una publicación de 2002 de Paulis et al. [68] quienes indicaron que en el proceso de tostado del café se originaban derivados de los ácidos clorogénicos. A su vez, estos derivados pueden tener el potencial de alterar el efecto de la cafeína como antagonista de la adenosina, lo que posiblemente reduciría la capacidad de la droga de disminuir la acción inhibitoria de la adenosina [68].

En tal sentido, McLellan y Bell [27] analizaron si una taza de café por la mañana, justo antes de la suplementación con cafeína anhidra, tenía algún impacto negativo sobre el efecto ergogénico del compuesto. Los sujetos que participaron eran físicamente activos y se consideraban consumidores habituales de cafeína de nivel moderado a alto.

Siguiendo un diseño transversal, que consistió en seis días de evaluación separados, los sujetos pedalearon hasta el agotamiento a aproximadamente 80% de  $VO_{2max}$ . Los sujetos consumieron una taza de café con una dosis de cafeína que era aproximadamente 1,0 mg/kg y 30 min después ingirieron alguna de las siguientes seis condiciones: Café descafeinado + cápsulas de placebo; café descafeinado + cápsulas de cafeína con 5 mg/kg, café con 1,1 mg/kg + cápsulas de cafeína con 5 mg/kg, café + cápsulas de cafeína con 3 mg/kg, café + cápsulas de cafeína con 7 mg/kg, agua + cápsulas de cafeína con 5 mg/kg. Los resultados indicaron que la suplementación con cafeína aumentó significativamente el tiempo hasta el agotamiento del ejercicio, independientemente si la cafeína en forma anhidra era consumida después de una taza de café común o descafeinado [27].

Reuniendo los resultados de todas las investigaciones disponibles, se sugiere que la cafeína suplementada en forma de cápsula en una dosis de 3 a 7 mg/kg, proporcionó un aumento medio en el rendimiento de 24% por encima del placebo [27]. Si bien la cafeína suplementada a través de una taza de café podría ser menos eficaz que cuando se consume en forma anhidra, el consumo de café previo a la suplementación con cafeína anhidra no interfiere con el efecto ergogénico proporcionado por las dosis bajas o moderadas.

### **Café con Cafeína, Café Descafeinado y Ejercicios de Resistencia**

Wiles et al. [69] analizaron los efectos sobre el tiempo de carrera en cinta rodante, de 3 g de café que contenían aproximadamente 150-200 mg de cafeína.

Se utilizó esta forma y ésta dosis para imitar los hábitos de vida reales de un atleta antes de la competencia. Los sujetos realizaron una prueba contrarreloj en cinta rodante de 1500-m. Diez sujetos con un  $VO_{2max}$  de 63,9-88,1 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> además realizaron un segundo protocolo diseñado para simular un "esfuerzo final" de aproximadamente 400 m. Además, seis sujetos también realizaron un tercer protocolo para investigar el efecto del café con cafeína sobre el ejercicio sostenido de alta intensidad.

Los resultados revelaron un tiempo de carrera 4,2 s más rápido en el tratamiento de café con cafeína, en comparación con el café descafeinado. En la simulación del "esfuerzo final" los 10 sujetos lograron velocidades de carrera significativamente más rápidas luego de la ingestión de café con cafeína.

Finalmente, durante el esfuerzo sostenido de alta intensidad, ocho de diez sujetos habían aumentado los valores de  $VO_2$  [69].

En una publicación más reciente, Demura et al. [70] analizaron el efecto de café que contenía una dosis moderada de cafeína de 6 mg/kg, sobre ejercicios de ciclismo de intensidad submáxima. Los sujetos consumieron café con cafeína o descafeinado 60 min antes del ejercicio. El único resultado significativo fue un RPE en el tratamiento con café con cafeína menor que en el tratamiento con café descafeinado [70].

El café contiene numerosos compuestos biológicamente activos; sin embargo, no se sabe si estos compuestos son beneficiosos para el rendimiento humano [71]. Por otra parte, está claro que consumir antes de las competencias deportivas, la cafeína en forma anhidra, sería más ventajoso para aumentar el rendimiento deportivo que consumir café. No obstante, la forma de suplementación no es el único factor para considerar, ya que la dosificación apropiada es también una variable importante.

### **Dosis Bajas, Moderadas o Altas de Cafeína Anhidra y Ejercicio de Resistencia**

Pasman y colegas [28] examinaron el efecto de diferentes cantidades de cafeína sobre el rendimiento de resistencia. Nueve ciclistas entrenados aeróbicamente, realizaron seis ejercicios de ciclismo donde pedalearon hasta el agotamiento a aproximadamente 80% de la producción de potencia máxima. Los sujetos consumieron cuatro tratamientos en diferentes ocasiones: Placebo, 5, 9, y 13 mg/kg de cafeína en forma de cápsula. Los resultados fueron concluyentes ya que los tres tratamientos con cafeína aumentaron significativamente el rendimiento de resistencia en comparación con el placebo. No se observaron diferencias estadísticas, entre las dosis de cafeína. Por lo tanto, los aumentos en el rendimiento fueron comparables, tanto para la dosis moderada de 5 mg/kg, como para la dosis alta de 13 mg/kg [28]. El aumento promedio en el tiempo de rendimiento fue 27% para los tres tratamientos de cafeína [28], y similar a lo observado en el estudio de entrenamiento de las Fuerzas Especiales de la Marina de Estados Unidos (*US Navy Seal*) publicado por Lieberman et al [40]. Los resultados de esa publicación indicaron que no hay una ventaja estadística, en consumir una dosis absoluta de 300 mg versus una dosis de 200 mg. Sin embargo, la dosis de 200 mg producía incrementos significativos en el rendimiento, en comparación con la dosis de 100 mg y la dosis de 100 mg no era diferente o más ventajosa en ningún punto para el rendimiento que el placebo [40].

Como discutimos previamente, Graham y Spriet [8], estudiaron los efectos de diferentes cantidades de cafeína sobre el metabolismo y ejercicios de resistencia e informaron un aumento significativo en el rendimiento con las dosis bajas (3

mg/kg) y moderadas (6 mg/kg) de cafeína, pero no con la dosis de 9 mg/kg. En respuesta a, por qué las dosis bajas y moderadas de cafeína mejoran significativamente el rendimiento, en comparación con la dosis alta, Graham y Spriet [8] sugirieron que, "sobre la base de informes subjetivos de algunos sujetos parecería que en dosis elevadas, la cafeína podría haber estimulado el sistema nervioso central hasta un punto donde las respuestas ergogénicas usualmente positivas fueron avasalladas". Éste es un aspecto muy importante porque en todos los deportes existen grandes diferencias individuales entre los atletas, como el nivel de entrenamiento, habituación a la cafeína y modo de ejercicio. Por lo tanto, estas variables deben ser consideradas cuando se incorpora la suplementación con cafeína a un programa de entrenamiento de un atleta.

### **Cafeína Anhidra y Ejercicio de Resistencia**

En un estudio previo publicado por Graham y Spriet [52], siete corredores de élite realizaron un total de cuatro tests, dos ejercicios de ciclismo hasta el agotamiento y dos carreras hasta el agotamiento, a aproximadamente 85% de  $VO_{2max}$ . Los tiempos de carrera y de ciclismo aumentaron significativamente; el tiempo de carrera aumentó desde ~49 min en el tratamiento con el placebo a 71 min en el tratamiento con 9 mg/kg de cafeína, el tiempo de ciclismo aumentó de ~39 min en el tratamiento placebo a ~59 min en el tratamiento con 9 mg/kg de cafeína [52].

Los resultados fueron comparables a los de otro estudio publicado en 1992 por Spriet et al. [18].

Donde con un diseño transversal, ocho sujetos consumieron un placebo o un tratamiento con 9 mg/kg de cafeína y luego de 60 minutos pedalearon hasta el agotamiento a ~80% de  $VO_{2max}$ . Una vez más, luego de la suplementación con cafeína los tiempos hasta el agotamiento aumentaron significativamente. Los resultados indicaron que los sujetos eran capaces de pedalear durante 96 min en el tratamiento con cafeína, en comparación con el tratamiento placebo donde el tiempo hasta el agotamiento era de 75 min [18].

Recientemente McNaughton et al. [72] informaron los efectos de una dosis moderada de cafeína (6 mg/kg) sobre el rendimiento de una prueba contrarreloj de 1-hora. Esta investigación es única porque, aunque el protocolo es continuo, también incluyó varias simulaciones de ascensos para representar mejor el trabajo máximo que realiza un ciclista durante el entrenamiento diario. Durante la prueba contrarreloj de 1 hora de duración los ciclistas del tratamiento con cafeína pedalearon significativamente más que los ciclistas de los grupos placebo y control. De hecho, el rendimiento en prueba contrarreloj aumentó 4-5% en el tratamiento con cafeína por encima de los otros dos tratamientos [72].

El uso de cafeína en forma anhidra, en comparación con una taza de café con cafeína, parecería aportar mayores beneficios en relación al aumento del rendimiento de resistencia. Además, una dosis baja a moderada de cafeína de entre 3 y 6 mg/kg sería suficiente para mejorar el rendimiento en un esfuerzo sostenido de resistencia de intensidad máxima.

## **CAFEINA: EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD Y DEPORTES DE EQUIPO**

Es evidente que la suplementación con cafeína aporta una repuesta ergogénica para los esfuerzos aeróbicos sostenidos en los atletas con entrenamiento en resistencia moderado a alto. Sin embargo las investigaciones presentan mayor variación, cuando se trata de series de esfuerzos máximos de alta-intensidad. Collomp et al. [46] informaron los resultados obtenidos en un grupo de sujetos desentrenados que participaban sólo 2-3 horas por semana en actividades deportivas no específicas. En un estudio con un diseño transversal, los sujetos consumieron en ayuno, una dosis de cafeína de 5 mg/kg o un placebo y realizaron un Test de Wingate de 30-segundos. En comparación con el placebo, la cafeína no produjo aumento significativo en el rendimiento de potencia máxima o trabajo total realizado [46]. Estos resultados concuerdan con los resultados de Greer y colegas [45], dónde además de la ausencia de aumentos en el rendimiento luego de la suplementación con cafeína (6 mg/kg), los sujetos de la categoría no entrenados, experimentaron una disminución en la potencia, en comparación con el placebo, durante las dos últimas, de las cuatro repeticiones del Test de Wingate [45]. Como establecimos previamente, Crowe et al. [47] informaron tiempos significativamente más lentos para alcanzar la potencia máxima en la segunda de dos repeticiones de 60 s de ciclismo de máxima intensidad. Los sujetos que participaron de ese estudio no tenían entrenamiento en un deporte específico y consumieron cafeína en una dosis de 6 mg/kg [47]. Finalmente, Lorino et al. [47] analizaron los efectos de 6 mg/kg de cafeína en la agilidad atlética y en el Test de Wingate. Los resultados mostraron que los varones no entrenados no presentaron un mejor rendimiento ni en la carrera de agilidad ni en el Test de Wingate de 30 seg. [73]. En contraste, un estudio publicado por Woolf et al. [30] demostró que participantes que eran atletas entrenados, alcanzaron una mayor potencia máxima durante el test de Wingate después de consumir una dosis moderada de cafeína de 5 mg/kg [30]. Queda sumamente claro que la cafeína no es eficaz para individuos no entrenados que realizan ejercicios de alta intensidad. Esto podría deberse a la gran variabilidad en el rendimiento típica de los sujetos no entrenados.

Sin embargo, los resultados son notablemente diferentes en los atletas altamente entrenados que consumen dosis moderadas de cafeína. Collomp et al. [46] evaluó el consumo de 250 mg de cafeína (4,3 mg/kg) en nadadores entrenados y no entrenados. Los nadadores realizaron dos pruebas máximas de natación de 100 m estilo libre; solo los nadadores entrenados registraron aumentos significativos en la velocidad de nado. Resultados similares fueron informados por Macintosh y Wright [74] en un trabajo que estudió los efectos de la cafeína en nadadores entrenados, pero el tratamiento con cafeína fue proporcionado en una dosis más alta (6 mg/kg), y el protocolo involucró una prueba de natación de 1500 metros. Los resultados indicaron una mejora significativa en los tiempos de nado en los sujetos que consumieron cafeína, en comparación con el placebo. Es más, el tiempo se midió en etapas de 500-m que arrojaron tiempos significativamente más rápidos en cada una de las tres etapas del tratamiento con cafeína [74]. Collomp et al., [29] sugirieron que, es posible que adaptaciones fisiológicas específicas presentes en los atletas anaeróbicos altamente entrenados, tales como una mayor regulación del equilibrio ácido-base (es decir, capacidad amortiguadora intracelular de H<sup>+</sup>), sean esenciales para que la cafeína produzca un efecto ergogénico [29].

Los participantes en un estudio publicado por Woolf et al. [30] eran atletas altamente entrenados a condiciones anaeróbicas y los resultados de esa investigación demostraron un aumento significativo en la potencia máxima con una dosis moderada de cafeína (5 mg/kg) en comparación con el placebo [30]. Wiles et al. [44] reportaron una mejora de 3,1% en el tiempo de rendimiento en una prueba contrarreloj de 1 kilómetro (71,1s para el tratamiento con cafeína; 73,4s para el tratamiento con placebo) utilizando una dosis de cafeína de 5 mg/kg y los resultados también incluyeron un aumento significativo en la potencia media y en la potencia máxima [44]. Wiles et al. [44] indicaron que los sujetos del estudio informaron entrenamiento intervalado de esprint regular, lo que podría reforzar la teoría que la cafeína es muy beneficiosa en atletas entrenados que poseen las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento específico de alta intensidad [44].

Un estudio reciente publicado por Glaister et al. [31] evaluó el efecto de una dosis de 5 mg/kg de cafeína sobre el rendimiento de esprint intervalado. Los sujetos eran varones entrenados, físicamente activos y realizaron 12 esprints de 30 m en intervalos de 35 s.

Los resultados indicaron un aumento significativo en tiempo de esprint en los tres primeros esprints, con un aumento consiguiente en la fatiga en el tratamiento con cafeína [31]. Los autores sugirieron que el aumento en la fatiga se debió a la mayor respuesta ergogénica de la cafeína en las etapas iniciales del protocolo y por lo tanto, no debería ser interpretado como una potencial respuesta negativa al suplemento [31].

Bruce et al. [32] probaron los efectos de dos dosis de cafeína (6 mg/kg y 9 mg/kg) sobre el rendimiento de remo de 2000 m en remeros de competición entrenados. Los resultados del estudio revelaron un aumento en el rendimiento de las pruebas contrarreloj y producción de potencia promedio en el tratamiento con cafeína, en comparación con el placebo (500 mg de glucosa). El tiempo de la prueba contrarreloj mejoró un 1,3% con la dosis de cafeína de 6 mg/kg.

La dosis de 9 mg/kg no produjo aumentos adicionales en el rendimiento. El promedio de los tratamientos de cafeína de 6 y 9 mg/kg fue 1,2% más rápido en comparación con el placebo [32]. Anderson y colegas [75] probaron estas mismas dosis de cafeína en mujeres que practicaban remo, entrenadas competitivamente, que también realizaron una prueba de remo de 2000 metros. En las mujeres, la dosis más alta de 9 mg/kg de cafeína, produjo una mejora significativa en el tiempo de 1,3%, con un aumento del rendimiento más evidente en los primeros 500 metros de la prueba de remo [75].

El rendimiento en deportes de equipo, como fútbol o hockey sobre césped, involucra un período de duración prolongada con series intermitentes de tiempos de juego de alta intensidad. En éste sentido, Stuart et al. [33] analizaron los efectos de una dosis moderada de cafeína (6 mg/kg) sobre jugadores de rugby aficionados bien entrenados. Los sujetos participaron en circuitos que fueron diseñados para simular las acciones de un jugador de rugby que incluían esprints y pases de pelota, y cada actividad tuvo una duración media de 3-14 segundos. En total, los circuitos fueron diseñados para representar el tiempo equivalente a dos mitades de un juego, con un período de descanso de 10 min. Los resultados demostraron una mejora del 10% en la exactitud de pases de pelota [33]. Una mejora en la exactitud de pases de pelota es aplicable al ámbito de la vida real, ya que, en condiciones de alta presión, es necesario pasar la pelota rápidamente y con precisión [33].

Además, a lo largo del protocolo, los sujetos que pertenecían al tratamiento con cafeína realizaron pases exitosos de la pelota el 90% de las veces, en comparación con el placebo donde éste porcentaje fue del 83% [33].

Este estudio [33] fue el primero en mostrar una mejora en una destreza asociada a un deporte provocada por la suplementación con cafeína. Los resultados de este estudio [33] también indicaron que los sujetos de la condición donde se consumió cafeína, pudieron mantener los tiempos de esprint al final del circuito, en relación a los tiempos del comienzo del protocolo.

Schneiker et al. [34] también evaluaron los efectos de la suplementación con cafeína sobre la capacidad de realizar esprints repetidos necesaria para deportes como fútbol y hockey sobre césped. Diez varones pertenecientes a deportes de

equipo con actividad competitiva recreativa, participaron en una prueba de esprint intermitente con una duración aproximada de 80 minutos. Los resultados del estudio indicaron que la dosis de cafeína de 6 mg/kg permitió realizar un trabajo total de esprint mayor en comparación con el placebo. Específicamente, el trabajo de esprint fue 8,5% mayor en la primera mitad y 7,6% mayor en la segunda mitad respectivamente [34].

Sobre la base de las investigaciones presentadas [29, 30, 33, 34, 74], está claro que la suplementación moderada de cafeína en el rango de 4-6 mg/kg puede ser ventajosa para el rendimiento de alta intensidad tanto de corto plazo como de duración intermitente/prolongada, pero sólo en atletas entrenados. El entrenamiento y acondicionamiento de estos atletas puede producir adaptaciones fisiológicas específicas que, junto con la suplementación con cafeína, pueden producir mejoras en el rendimiento o la variabilidad en el rendimiento de sujetos desentrenados puede enmascarar el efecto de la cafeína.

## **CAFEINA: RENDIMIENTO DE FUERZA - POTENCIA**

---

En el ámbito de la suplementación con cafeína, las investigaciones relacionadas a la fuerza, están recién apareciendo y los resultados de los estudios publicados son variados. Como mencionamos previamente, Woolf y colegas [30] analizaron los efectos de 5 mg/kg de cafeína en varones que participan en deportes de equipo altamente entrenados. El protocolo consistió en ejercicios en press de piernas, press de banca y Test de Wingate.

Los ejercicios en press de pierna y pecho consistieron en realizar repeticiones hasta el fallo (i.e., resistencia muscular) y todos los ejercicios estaban separados por 60 segundos de descanso. Los resultados revelaron un aumento significativo en el rendimiento en el press de pecho y potencia máxima en Wingate, pero no se observó ninguna ventaja estadísticamente significativa, en press de banca, potencia media, potencia mínima o disminución porcentual [30].

Beck et al. [35] analizaron los efectos agudos de la suplementación con cafeína sobre la fuerza, resistencia muscular y capacidad anaeróbica. Varones entrenados en sobrecarga consumieron cafeína (201 mg, equivalente a 2,1-3,0 mg/kg) una hora antes de la prueba. Se les realizó la evaluación de la fuerza de los miembros superiores (press de banca) e inferiores (extensión bilateral de piernas), así como también de la resistencia muscular a través de repeticiones al 80% de 1RM individual, hasta el agotamiento.

También se evaluó la potencia media y pico de los participantes, a través de la realización de dos Tests de Wingate separados por cuatro minutos de descanso (pedaleando contra una resistencia igual a cero). Una dosis baja de cafeína de 2,1-3,0 mg/kg, fue eficaz para aumentar el valor de 1 RM en press de banca (2,1 kg=2,1%). No se observaron cambios significativos en el aumento de rendimiento para la fuerza del tren inferior corporal ni en 1RM ni en la resistencia muscular [35].

Los resultados de la investigación de Beck et al. [35] se oponen a los de una reciente publicación de Astorino et al. [76] donde veintidós hombres entrenados en sobrecarga consumieron 6 mg/kg de cafeína y realizaron ejercicios en press de banca y de piernas [76]. Los resultados de Astorino y colegas [76] reflejaron un aumento no significativo en el valor de 1RM en press de banca o de piernas, en los sujetos que recibieron el suplemento de cafeína. Astorino et al. [76] informaron un incremento no significativo en las repeticiones y peso levantados a 60% de 1RM en press de banca y press de pierna [76]; sin embargo, la intensidad fue diferente entre los dos estudios. El diseño experimental del estudio de Beck et al. incluyó una dosis de cafeína de 2,1-3,0 mg/kg y repeticiones hasta el fallo al 80% de 1RM individual, mientras que los sujetos del estudio de Astorino et al. consumieron 6 mg/kg y realizaron repeticiones hasta el fallo al 60% de 1RM individual.

De hecho es posible que el grado de intensidad entre los dos protocolos haya sido de alguna manera un factor decisivo en el resultado de los dos estudios.

Consecuentemente, Woolf y colegas [77] no observaron aumentos significativos en el rendimiento en press de banca en atletas de fútbol colegiados que consumieron una dosis moderada de cafeína (5 mg/kg) 60 min antes de realizar la prueba. En esta investigación los participantes [77] fueron considerados como no habituados a la cafeína y consumían mucho menos de 50 mg por día.

La investigación sobre los efectos de la cafeína en deportes o actividades de fuerza-potencia, aunque tenga variaciones en los resultados y diseños, sugiere que la suplementación puede ayudar a los atletas entrenados en fuerza y potencia. Por consiguiente, las futuras investigaciones deben estudiar el efecto de la habituación y suplementación con cafeína sobre la fuerza y/o el ejercicio de alta-intensidad de corta duración. De interés particular, es la ausencia de resultados significativos

en la fuerza de los miembros superiores en comparación con el rendimiento de los miembros superiores.

## CAFEINA Y MUJERES

---

Las investigaciones que han analizado el papel de la suplementación con cafeína en mujeres entrenadas en el ejercicio resistencia, de alta-intensidad o sobrecarga son escasas, especialmente si se comparan con las publicaciones que han investigado éstas dinámicas en los varones. Como señalamos previamente, Anderson y colegas [75] evaluaron el efecto de dos dosis de cafeína, una moderada y una alta (6 y 9 mg/kg) en mujeres que realizaban remo entrenadas para competición. Los resultados de una prueba de remo de 2000 m demostraron que la dosis más alta de cafeína (9 mg/kg) producía una mejora significativa de 1,3%, en el tiempo, y la mejora era más evidente en los primeros 500 m de la prueba de remo. Por otra parte, no se informó ningún aumento significativo en el rendimiento con dosis más bajas o con el placebo; pero la dosis de 6 mg/kg produjo una mejora no significativa de 0,7% [75].

Motl et al. [78] examinaron los efectos de dosis de 5 y 10 mg/kg de cafeína en el dolor muscular de piernas durante la realización de ciclismo hasta el agotamiento a 60%  $VO_{2\text{pico}}$ . Los sujetos tenían una aptitud física promedio y fueron clasificados como no habituados (consumían menos de 100 mg/día de cafeína). Sobre la base de una escala de puntuación de dolor muscular de piernas, se observó que ambas dosis de cafeína de 5 y 10 mg/kg disminuyeron significativamente los índices de dolor muscular de piernas durante el ejercicio [78]. Más aún, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de 5 y 10 mg [78]. La ausencia de un efecto dependiente de la dosis está en línea con las investigaciones previamente publicadas [8,28,32,40].

En dos publicaciones diferentes, Ahrens y colegas [79, 80] analizaron los efectos de la suplementación con cafeína sobre el ejercicio aeróbico en un grupo mujeres. En un estudio [79] mujeres activas recreacionalmente no habituadas a la cafeína realizaron una caminata a velocidad moderada (3,5 mph) en cinta rodante durante ocho minutos.

Siguiendo un diseño en doble ciego las participantes consumieron de manera aleatoria cafeína mezclada con agua en dosis de 3 o 6 mg/kg de peso corporal. El diseño inicial incluyó una dosis de 9 mg/kg, pero durante la primera visita al laboratorio siete de diez participantes que recibieron ese tratamiento experimentaron sudoración profusa, temblores corporales, vértigo y vómitos. Los resultados demostraron que el tratamiento con la dosis de 6 mg/kg de cafeína provocó un aumento significativo en el gasto de energía de siete calorías adicionales cada 30 minutos de caminata moderada, en comparación con la dosis de 3 mg/kg y placebo [79].

Desde un punto de vista de investigación el aumento en  $VO_2$  (0,67 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, equivalente a un aumento en el índice de gasto de energía de 0,23 kcal/min) es significativo; sin embargo, en el ámbito práctico, parece levemente menos considerable.

Finalmente, no se informó ningún resultado significativo de la cafeína en la danza aeróbica en el banco de step [80].

Goldstein y colegas [81] estudiaron los efectos de la cafeína sobre la fuerza y la resistencia muscular en mujeres entrenadas en sobrecarga. Al igual que en el estudio de Beck et al. [35] se observó que una dosis moderada de cafeína (6 mg/kg) aumentó significativamente la fuerza de los miembros superiores del cuerpo (1RM en press de banca). En este estudio, para que las mujeres fueran identificadas como entrenadas en sobrecarga, se les requirió que realizaran press de banca con el 70% del peso corporal individual [81].

Las investigaciones que pertenecen exclusivamente a mujeres son algo limitadas y excepcionalmente variadas. Las publicaciones van desde, examinar los efectos de la cafeína y remeras de competición [75] a otras investigaciones con participantes activas recreacionalmente que realizan ejercicio aeróbico de intensidad moderada [79,80]. En conjunto, estos resultados indican que una dosis moderada de cafeína puede ser eficaz para mejorar el rendimiento, tanto en mujeres entrenadas como en mujeres moderadamente activas. Es necesario realizar investigaciones adicionales en todos los niveles deportivos para determinar si la cafeína, es realmente eficaz, para mejorar el rendimiento en mujeres, ya sea en el ámbito de las competencias como en el ámbito de actividad recreacional.

## CAFEINA, HABITUACION Y RENDIMIENTO

---

Declarar la ingesta diaria de cafeína es un procedimiento estándar de los protocolos de investigación que deben cumplir

todos los sujetos que participan en un estudio particular. El propósito de responder este tipo de información dietética, es determinar si el consumo de cafeína a) tiene un efecto en el rendimiento y b) si este resultado es diferente entre una persona que consume o no cafeína de manera regular. De hecho, como mencionamos previamente en esta publicación, Bell y colegas [41] estudiaron el efecto de una dosis moderada de cafeína en personas identificadas como consumidores ( $\geq 300$  mg/d) y no consumidores ( $\leq 50$  mg/d). Los resultados demostraron una mejora en el rendimiento en ambos grupos; sin embargo, el efecto del tratamiento duró aproximadamente tres horas más en las personas identificadas como no consumidores [41].

Dodd et al. [82] identificaron la habituación a la cafeína entre los sujetos de manera similar a Bell y colegas [41] y no informaron ninguna diferencia estadística de  $VO_{2max}$  entre los grupos (los sujetos realizaron un protocolo de ejercicio graduado). Las únicas diferencias que se observaron, en parámetros como ventilación y frecuencia cardíaca, se observaron en reposo en las personas no habituadas a la cafeína [82]. Van el Soeren et al. [83] tampoco informaron ningún cambio significativo entre los consumidores y no consumidores de cafeína, además del aumento en la epinefrina plasmática durante el ejercicio en personas no habituadas a la cafeína, en comparación con el placebo. Finalmente, Wiles et al. [69] sugirieron que el consumo diario de cafeína entre los sujetos no tenía efecto en los resultados de rendimiento de ese particular estudio, que analizó los efectos de 3 g de café que contenían aproximadamente 150-200 mg de cafeína sobre el tiempo de carrera en cinta rodante.

Un aspecto que podría ser importante considerar, es cómo la cafeína afecta a consumidores y no consumidores individualmente. Por ejemplo, Astorino y colegas [76] estudiaron los efectos de 6 mg/kg de cafeína en 1RM en press de banca. Trece de 22 sujetos en esa investigación describieron que sentían mayor energía, elevada frecuencia cardíaca, inquietud y temblor. También es necesario señalar, que estos sentimientos se agudizaron en los participantes que consumían una pequeña cantidad de cafeína diariamente [76]. Parecería que un factor importante para considerar son los hábitos individuales del atleta y cómo afecta la suplementación con cafeína su capacidad de rendimiento. En cuanto a la aplicación práctica, es responsabilidad del entrenador y/o del atleta determinar qué dosis de cafeína, si es que hay alguna, es conveniente para las competencias.

## CAFEINA E HIDRATACION

---

Se ha sugerido ampliamente que el consumo de cafeína induce un estado agudo de deshidratación.

Sin embargo, el consumo de cafeína en reposo y durante el ejercicio presenta dos escenarios completamente diferentes. Específicamente, los trabajos que estudian los efectos de diuresis inducida por cafeína en reposo no pueden ni deben ser aplicados al rendimiento deportivo. Para comenzar, un estudio publicado en 1928 por Eddy & Downs [84] evaluó el posible papel de la deshidratación inducida por la cafeína pero solo consideró una muestra de tres individuos ( $n=3$ ). Maughan y Griffin sugirieron en una revisión sobre la cafeína y balance de fluidos [85] que "el estado de hidratación del individuo en el momento de ingerir la cafeína también podría afectar la respuesta, pero este aspecto no fue controlado en muchos de los estudios publicados".

A pesar de la noción infundada, pero aceptada, que indica que la ingestión de cafeína puede alterar negativamente el balance de fluidos durante el ejercicio, Falk y colegas [86] no observaron ninguna diferencia en la pérdida total de agua ni en la tasa de sudoración, luego del consumo de una dosis de 7,5 mg/kg de cafeína (5 mg/kg 2 hr antes del ejercicio, 2.5 mg/kg 30 min antes del ejercicio) y de una caminata en cinta rodante con una mochila de 22-kg (intensidad de  $\sim 70-75\%$  de  $VO_{2max}$ ). Los autores aclararon que el ejercicio se llevó a cabo en un ambiente con temperatura neutra y sería necesario realizar investigaciones adicionales para determinar los efectos en una condición ambiental más estresante [86].

Wemple et al. [87] investigaron los efectos de una bebida con electrolitos con cafeína y sin cafeína en reposo y durante 180 min de ejercicios de ciclismo de intensidad moderada al 60% del  $VO_{2max}$ . En total, los participantes consumieron 8,7 mg/kg de cafeína en dosis divididas. Los resultados indicaron un aumento significativo en el volumen de orina en el tratamiento con cafeína en reposo, pero no se observaron diferencias significativas en el ba

## REFERENCIAS

1. Harland B (2000). Caffeine and nutrition. *Nutrition* 2000, 16:522-526
2. Fredholm B. B (1995). Adenosine, adenosine receptors and the actions of caffeine. *Pharmacol Toxicol* 1995, 76:93-101
3. McArdle W. D , Katch F. I., Katch V. L (2007). Exercise physiology. Energy, nutrition, & human performance. . Baltimore Lippincott, Williams & Wilkins 2007, (Series Editor)
4. Carrillo J. A., Benitez J (2000). Clinically significant pharmacokinetic interaction between dietary caffeine and medications. *Clin Pharmacokinet* 2000, 39:127-53
5. Fredholm B. B., Battig K., Holmen J., Nehlig A., Zvartau E. E (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev*, 51:83-133
6. Graham T. E (2010). Caffeine and exercise. *Metabolism, endurance and performance Sports Med*, 31:785-807
7. Tang-Liu D. D., Williams R. L., Riegelman S (1983). Disposition of caffeine and its metabolites in man. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 224:180-185
8. Graham T. E., Spriet L. L (1995). Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol*, 78:867-74
9. Powers S. K., Howley E. T (2004). Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. New York: McGraw-Hill, (Series Editor)
10. Robertson D., Frolich J. C., Carr R. K., Watson H. T., Hollifield J. W., Shand D., Oates H. A (1978). Effects of caffeine on plasma renin activity, catecholamines and blood pressure. *N Engl J Med*, 298:181-6
11. McCall A. L., Millington W. R., Wurtman R. J (1982). Blood-brain barrier transport of caffeine: Dose-related restriction of adenine transport. *Life Sci*, 31:2709-2715
12. Magkos F., Kavouras S. A (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:535-562
13. Sokmen B., Armstrong L. E., Kraemer W. J., Casa D. J., Dias J. C., Judelson D. A., Maresh C. M (2008). Caffeine use in sports: Considerations for the athlete. *J Strength Cond Res*, 22:978-986
14. Spriet L. L., Gibala M. J (2004). Nutritional strategies to influence adaptations to training. *J Sports Sci*, 22:127-41
15. Spriet L. L (1995). Caffeine and performance. *Int J of Sport Nutr*, 5:S84-99
16. Ivy J. L., Costill D. L., Fink W. J., Lower R. W (1979). Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 11:6-11
17. Erickson M. A., Schwarzkopf R. J., McKenzie R. D (1987). Effects of caffeine, fructose, and glucose ingestion on muscle glycogen utilization during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 19:579-83
18. Spriet L. L., MacLean D. A., Dyck D. J., Hultman E., Cederblad G., Graham T. E (1992). Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *Am J Physiol*, 262:E891-8
19. Essig D., Costill D. L., Van Handel P. J (1980). Effects of caffeine ingestion on utilisation of muscle glycogen and lipid during leg ergometer exercise. *Int J of Sports Med*, 1:86-90
20. Laurent D., Schneider K. E., Prusaczyk W. K., Franklin C., Vogel S. M., Krssak M., Petersen K. F., Goforth H. W., Shulman G. I (2000). Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. *J Clin Endocrinol Metab*, 85:2170-75
21. Grossman A., Sutton J. R (1985). Endorphins: What are they? How are they measured? What is their role in exercise?. *Med Sci Sports Exerc*, 17:74-81
22. Kalmar J. M., Cafarelli E (1999). Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol*, 87:801-808
23. Lopes J. M., Aubier M., Jardim J., Aranda J. V., Macklem P. T (1983). Effect of caffeine on skeletal muscle function before and after fatigue. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol*, 54:1303-1305
24. Astrup A., Toubro S., Cannon S. et al (1990). Caffeine: A double-blind, placebo controlled study of its thermogenic, metabolic, and cardiovascular effects in healthy volunteers. *Am J Clin Nutr*, 51:759-67
25. Hogervorst E., Bandelow S., Schmitt J., Jentjens R., Oliveira M., Allgrove J., Carter T., Gleeson M (2008). Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40:1841-51
26. Graham T. E., Hibbert E., Sathasivam P (1998). Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *J Appl Physiol*, 85:883-889
27. McLellan T. M., Bell D. G (2004). The impact of prior coffee consumption on the subsequent ergogenic effect of anhydrous caffeine. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 14:698-708
28. Paman W. J., van Baak M. A., Jeukendrup A. E., de Haan A (1995). The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *Int J of Sports Med*, 16:225-30
29. Collomp K., Ahmaidi S., Chatard J. C., Audran M., Prefaut C. H (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 64:377-80
30. Woolf K., Bidwell W. K., Carlson A. G (2008). The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 18:412-29
31. Glaister M., Howatson G., Abraham C. S., Lockey R. A., Goodwin J. E., Foley P., McInnes G (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 40:1835-40
32. Bruce C. R., Anderson M. E., Fraser S. F., Stepto N. K., Klein R., Hopkins W. G., Hawley J. A (2000). Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc*, 32:1958-1963
33. Stuart G. R., Hopkins W. G., Cook C., Cairns S. P (2005). Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc*, 37:1998-05
34. Schneiker K. T., Bishop D., Dawson B., Hackett L. P (2006). Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-

sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 38:578-585

35. Beck T. W., Housh T. J., Schmidt R. J., Johnson G. O., Housh D. J., Coburn J. W., Malek M. H (2006). The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res*, 20:506-510
36. McLellan T. M., Kamimori G. H., Voss D. M., Bell D. G., Cole K. G., Johnson D (2005). Caffeine maintains vigilance and improves run times during night operations for special forces. *Aviat Space Environ Med*, 76:647-54
37. McLellan T. M., Kamimori G. H., Voss D. M., Bell D. G., Smith I. F., Johnson D., Belenky G (2005). Caffeine maintains vigilance and marksmanship in simulated urban operations with sleep deprivation. *Aviat Space Environ Med*, 76:39-45
38. McLellan T. M., Kamimori G. H., Voss D. M., Tate C., Smith S. J. R (2007). Caffeine effects on physical and cognitive performance during sustained operations. *Aviat Space Environ Med*, 78:871-7
39. Kamimori G. H., Karyekar C. S., Otterstetter R. et al (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *Int J Pharm*, 234:159-67
40. Lieberman H. R., Tharion W. J., Shukitt-Hale B., Speckman K. L., Tully R (2002). Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during u. *S Navy seal training Psychopharmacology*, 164:250-61
41. Bell D. G., McLellan T. M (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol*, 93:1227-1234
42. Magkos F., Kavouras S. A (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 45:535-62
43. Doherty M., Smith P. M., Hughes M. G., Davison R. C. R (2004). Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. *J of Sports Sci*, 22:637-43
44. Wiles J. D. C. D., Tegerdine M., Swaine I (2006). The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *J of Sports Sci*, 24:1165-1171
45. Greer F., McLean C., Graham T. E (1998). Caffeine, performance, and metabolism during repeated wingate exercise tests. *J Appl Physiol*, 85:1502-1508
46. Collomp K., Ahmaidi S., Audran M., Chanal J. L., Prefaut C (1991). Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the wingate test. *Int J of Sports Med*, 12:439-43
47. Crowe M. J., Leicht A. S., Spinks W. L (2006). Physiological and cognitive responses to caffeine during repeated, high-intensity exercise. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 16:528-44
48. Foskett A., Ali A., Gant N (2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 19:410-23
49. Costill D. L., Dalksy G. P., Fink W. J (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*, 10:155-158
50. Jackman M., Wendling P., Friars D., Graham T. E (1996). Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J Appl Physiol*, 81:1658-1663
51. Collomp K., Caillaud C., Audran M., Chanal J. L., Prefaut C (1990). Effect of acute or chronic administration of caffeine on performance and on catecholamines during maximal cycle ergometer exercise. *C R Soc Biol Fil*, 184:87-92
52. Graham T. E., Spriet L. L (1991). Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged endurance exercise. *J Appl Physiol*, 71:2292-98
53. Greer F., Friars D., Graham T. E (2000). Comparison of caffeine and theophylline ingestion: Exercise metabolism and endurance. *J Appl Physiol*, 89:1837-1844
54. Peters E., Klein S., Wolfe R (1991). Effect of a short-term fasting on the lipolytic response to theophylline. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 261:E500-04
55. Hulston C. J., Jeukendrup A. E (2008). Substrate metabolism and exercise performance with caffeine and carbohydrate intake. *Med Sci Sports Exerc*, 40:2096-2104
56. Kovacs E. M. R., Stegen J. H. C. H., Brouns F (1998). Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *J Appl Physiol*, 85:709-715
57. Graham T. E., Helge J. W., MacLean D. A., Kiens B., Richter E. A (2000). Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J Physiol*, 15:837-47
58. Jeukendrup A. E (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20:669-77
59. Jeukendrup A. E (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *Eur J Sport Sci*, 8:77-86
60. Jentjens R. L., Moseley L., Waring R. H., Harding L. K., Jeukendrup A. E (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J Appl Physiol*, 96:1277-84
61. Sasaki H., Maeda J., Usui S., Ishiko T (1987). Effect of sucrose and caffeine ingestion on performance of prolonged strenuous running. *Int J of Sports Med*, 8:261-5
62. Jacobson T. L., Febbraio M. A., Arkinstall M. J., Hawley J. A (2001). Effect of caffeine coingested with carbohydrate or fat on metabolism and performance in endurance-trained men. *Exp Physiol*, 86:137-44
63. Yeo S. E., Jentjens R. L., Wallis G. A., Jeukendrup A. E (2005). Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *J Appl Physiol*, 99:844-50
64. Van Nieuwenhoven M. A., Brummer R. M., Brouns F (2000). Gastrointestinal function during exercise: Comparison of water, sports drink, and sports drink with caffeine. *J Appl Physiol*, 89:1079-85
65. Desbrow B., Barrett C. M., Minahan C. L., Grant G. D., Leveritt M. D (2009). Caffeine, cycling performance, and exogenous carbohydrate oxidation: A dose-response study. *Med Sci Sports Exerc*, 41:1744-51
66. Battram D. S., Shearer J., Robinson D., Graham T. E (2004). Caffeine ingestion does not impede the resynthesis of proglycogen and macroglycogen after prolonged exercise and carbohydrate supplementation in humans. *J Appl Physiol*, 96:943-950
67. Pedersen D. J., Lessard S. J., Coffey V. G., Churchley E. G., Wootton A. M., Ng T., Watt M. J., Hawley J. A (2008). High rate of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *J Appl Physiol*, 105:7-13

68. De Paulis T., Schmidt D. E., Bruchey A. K., Kirby M. T., McDonald M. P., Commers P., Lovinger D. M., Martin P. R (2002). Dicinnamoylquinides in roasted coffee inhibit the human adenosine transporter. *Eur J Pharmacol*, 442:215-23
69. Wiles J. D., Bird S. R., Riley M (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br J Sp Med*, 26:116-20
70. Demura S., Yamada T., Terasawa N (2007). Effect of coffee ingestion on physiological responses and ratings of perceived exertion during submaximal endurance exercise. *Perceptual Motor Skills*, 105:1109-16
71. Natella F., Nardini M., Giannetti I. et al (2002). Coffee drinking influences plasma antioxidant capacity in humans. *J Agric Food Chem*, 50:6211-6
72. McNaughton L. R., Lovell R. J., Siegler J. C., Midgley A. W., Sandstrom M., Bentley D. J (2008). The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 48:320-5
73. Lorino A. J., Lloyd L. K., Crixell S. H., Walker J. L (2006). The effects of caffeine on athletic agility. *J Strength Cond Res*, 20:851-54
74. MacIntosh B. R., Wright B. M (1995). Caffeine ingestion and performance of a 1,500-metre swim. *Can J Appl Physiol*, 20:168-77
75. Anderson M. E., Bruce C. R., Fraser S. F., Stepto N. K., Klein R., Hopkins W. G., Hawley J. A (2000). Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 10:464-75
76. Astorino T. A., Rohmann R. L., Firth K., Kelly S (2008). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *European Journal of Applied Physiology*, 102:127-132
77. Woolf K., Bidwell W. K., Carlson A. G (2009). Effect of caffeine as an ergogenic aid during anaerobic exercise performance in caffeine naive collegiate football players. *J Strength Cond Res*, 23:1363-1369
78. Ahrens J. N., Crixell S. H., Lloyd L. K., Walker J. L (2007). The physiological effects of caffeine in women during treadmill walking. *Journal of strength conditioning research*, 21:164-68
79. Ahrens J. N., Lloyd L. K., Crixell S. H., Walker J. L (2007). The effects of caffeine in women during aerobic-dance bench stepping. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 17:27-34
80. Goldstein E., Jacobs P. J., Whitehurst M., Penhollow T., Antonio J (2009). The effects of caffeine supplementation on strength and muscular endurance in resistance-trained females. *Masters Thesis Florida Atlantic University, Exercise Science & Health Promotion Department*
81. Dodd S. L., Brooks E., Powers S. K., Tulley R (1991). The effects of caffeine on graded exercise performance in caffeine naive versus habituated subjects. *Eur J Appl Physiol*, 62:424-9
82. Van Soeren M. H., Sathasivam P., Spriet L. L., Graham T. E (1993). Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and nonusers. *J Appl Physiol*, 75:805-12
83. Eddy N. M., Downs A. W (1928). Tolerance and cross-tolerance in the human subject to the diuretic effect of caffeine, theobromine and theophylline. *J Pharmacol Exp Therap*, 33:167-174
84. Maughan R. J., Griffin J (2003). Caffeine ingestion and fluid balance: A review. *J Hum Nutr Dietet*, 16:411-420
85. Falk B., Burstein R., Rosenblum J., Shaprio Y., Zylber-Katz E., Bashan N (1990). Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can J Physiol Pharmacol*, 68:889-92
86. Wemple R. D., Lamb D. R., McKeever K. H (1997). Caffeine vs caffeine-free sports drinks: Effects of urine production at rest and during prolonged exercise. *Int J of Sports Med*, 18:40-46
87. Armstrong L. E (2002). Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *Int J of Sport Nutr Exerc Metab*, 12:189-206
88. Grandjean A. C., Reimers K. J., Bannick K. E., Haven M. C (2000). The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration. *J Am Coll Nutr*, 19:591-600
89. Fiala K. A., Casa D. J., Roti M. W (2004). Rehydration with a caffeinated beverage during the nonexercise periods of 3 consecutive days of 2-a-day practices. *Int J of Sport Nutr Exerc Meta*, 14:419-29
90. Roti M. W., Casa D. J., Pumerantz A. C., Watson G., Judelson D. A., Dias J. C., Ruffin K., Armstrong L. E (2006). Thermoregulatory responses to exercise in the heat Chronic caffeine intake has no effect. *Aviat Space Environ Med*, 77:124-9
91. Millard-Stafford M. L., Cureton K. J., Wingo J. E., Trilk J., Warren G. L., Buyckx M (2007). Hydration during exercise in warm, humid conditions: Effect of a caffeinated sports drink. *Int J of Sport Nutr Exerc Metab*, 17:163-177
92. Del Coso J., Estevez E., Mora-Rodriguez R (2009). Caffeine during exercise in the heat: Thermoregulation and fluid-electrolyte balance. *Med Sci Sports Exerc*, 41:164-73
93. Ellender L., Linder M. M (2005). Sports pharmacology and ergogenic aids. *Prim Care*, 32:277-292
94. The National Collegiate Athletic Association (1940). <http://www.ncaa.org>, 2009- 10 NCAA banned drugs
95. World Anti-Doping Agency (2009). The world anti-doping code. *The 2009 prohibited list international standard 2009*<http://www.wada-ama.org>
96. World Anti-Doping Agency (2009). The world anti-doping code. *The 2009 monitoring program 2009*<http://www.wada-ama.org>. doi:10.1186/1550-2783-7-5

## Cita Original

Erica R Goldstein, Tim Ziegenfuss, Doug Kalman, Richard Kreider, Bill Campbell, Colin Wilborn, Lem Taylor, Darryn Willoughby, Jeff Stout, B Sue Graves, Robert Wildman, John L Ivy, Marie Spano, Abbie E Smith y Jose Antonio. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 7: 5. 2010.