

EFFECTOS DE LA INGESTIÓN DE CAFEÍNA SOBRE EL RENDIMIENTO, LA PEROXIDACIÓN LIPÍDICA Y LAS VITAMINAS A, E Y C, EN SUJETOS SOMETIDOS A UNA PRUEBA DE ESFUERZO MÁXIMA

EFFECTS OF CAFFEINE IN TAKE ON PERFORMANCE, LIPID PEROXIDATION, AND VITAMINS A, E, AND C, IN SUBJECTS UNDERGOING MAXIMUM STRESS TEST

RESUMEN

La cafeína es uno de los estimulantes más usados en nuestra sociedad. En el deporte la utilización de cafeína, en una cuantía cuya eliminación sea inferior a los 12 mg/ml, por el deportista puede ser una ayuda ergogénica de gran interés para el mismo dada sus propiedades de estimulante del sistema nervioso central, broncodilatador, mejora en la movilización de grasas, etc. Sin embargo, la cafeína dada la estimulación que produce a nivel del sistema adrenal, puede conducir a una excesiva producción de hormonas adrenérgicas como la adrenalina y noradrenalina y estas sustancias pueden someter al organismo del deportista a un estrés superior al que sería natural sin la toma de esta sustancia.

Por todo ello, el objetivo del presente estudio es el de valorar los efectos que la toma de una dosis única de 5 mg/Kg de peso de cafeína tiene sobre el rendimiento de sujetos sedentarios sometidos a una prueba de esfuerzo máxima en cicloergómetro; así como sobre los antioxidantes no enzimáticos vitaminas A, E y C y sobre la peroxidación lipídica.

Para ello se realizó un estudio a doble ciego con 20 sujetos sedentarios, en el que a cada individuo se le realizaron dos pruebas de esfuerzo máxima en cicloergómetro separadas la una de la otra por tres días para evitar el efecto de un posible entrenamiento, en una de ellas ingerían un placebo y en la otra ingerían 5mg/Kg de peso de cafeína. Se realizó una toma de orina y sangre antes y después de las pruebas y una toma de sudor durante la prueba. En sangre se midieron cafeína plasmática, lactato, glucosa, vitaminas A, E y C y Malondialdehído como producto final de la peroxidación lipídica. En orina y sudor se determinó cafeína.

Nuestros resultados demuestran los efectos ergogénicos de la cafeína ingerida a estas dosis, como lo refleja el aumento significativo ($p < 0.05$) alcanzado por los sujetos tras la ingesta de cafeína en el máximo consumo de oxígeno (38.47 ± 4.99 y 41.56 ± 6.50 ml/Kg/min) el tiempo de esfuerzo y los vatios obtenidos. La cafeína urinaria no superó en ningún caso los 12 mg/ml, mientras que en plasma y en sudor si sobrepasaban esta cifra. El MDA aumentó significativamente tras la prueba de cafeína y se produjo en estos casos un aumento significativo ($p < 0.01$) de la vitamina C y un descenso significativo ($p < 0.05$) de la A y E.

Palabras clave: cafeína, rendimiento, peroxidación lipídica, antioxidantes no enzimáticos.

SUMMARY

Caffeine from dietary sources is one of the most frequently and widely consumed stimulants in the world today. Caffeine is also a well-established ergogenic aid that improves performance in athletes. The International Olympic Committee therefore classified urinary concentrations of caffeine above 12 mg/ml as a doping offence. The ergogenic effects of caffeine have been attributed to a wide range of physiological factors that lead to stimulation of the central nervous system, relaxation of smooth bronchial muscle, release of catecholamines, and enhancement of lipolysis. However, given its stimulating effects on the adrenal system, caffeine may lead to an excessive production of adrenergic hormones such as adrenaline and noradrenaline and these hormones may subject the athlete's organism to greater stress than would be otherwise be natural.

The purpose of this study was to evaluate the effects of a single 5-mg/kg dose of caffeine on performance, non-enzymatic antioxidant systems (vitamins A, E, and C), as well as on the process of lipid peroxidation in sedentary subjects undergoing a maximum stress test with cycle ergometer.

Twenty sedentary subjects participated in a double blind study (placebo vs. 5 mg/kg caffeine). Each person underwent two maximum stress tests, one after having taken caffeine, and one without caffeine. Tests were performed three days apart to avoid any kind of training effect. The test consisted of an incremental cycle ergometer exercise test. Participants initially worked out at 0 watts, gradually increasing the workload to the point of exhaustion. Urine and venous blood samples were taken before and after each exercise period and sweat samples were taken during exercise. Plasma samples were analysed for caffeine, lactate, glucose, vitamins A, E, and C, and malondialdehyde (MDA) as a measure of lipid peroxidation. Urine and sweat samples were assayed for caffeine.

Time to exhaustion and oxygen consumption increased significantly ($p < 0.05$) with caffeine intake (from 38.5 ± 5.0 to 41.6 ± 6.50 ml/Kg/min, respectively). Maximum urinary caffeine concentration was at no time greater than 12 mg/ml, whereas plasma and sweat levels exceeded that amount. MDA and vitamin C increased significantly ($p < 0.01$) and vitamins A and E were significantly lower ($p < 0.05$) following caffeine intake. All other measurements remained significantly unchanged. These data demonstrate that a 5-mg/kg dose of caffeine is an effective ergogenic aid during incremental exercise.

Key words: caffeine, performance, lipid peroxidation, non-enzymatic antioxidants.

CORRESPONDENCIA:

Facultad de Ciencias del Deporte. Avenida de la Universidad, s/n. 10071 Cáceres. Teléfono: 927/257460 Ext: 7835.
e-mail: golcina@unex.es

Aceptado:
29.05.02

Guillermo J. Olcina Camacho¹,
Diego Muñoz Marín¹,
Rafael Timón Andrada¹,
María J. Caballero Loscos²,
Juan I. Maynar Mariño³,
Marcos Maynar Mariño¹

¹ Departamento de Fisiología. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura. España.

² Departamento de Farmacología. Facultad de Medicina. Universidad de Extremadura. España.

³ Departamento de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. España.

Premio FEMEDE a la mejor comunicación libre presentada por estudiante en el Congreso FEMEDE, Oviedo 2001.

INTRODUCCIÓN

El ejercicio físico es fuente natural de radicales libres de oxígeno (Campillo y cols⁽¹⁾, 1992). Son varias las fuentes de éstos con la actividad física, la cadena de transporte de electrones (ejercicio aeróbico) y reacciones en las que interviene la enzima xantina oxidasa en los procesos de isquemia-reperfusion (ejercicio anaeróbico) son las principales.

Es conocido, que la cafeína es una ayuda ergogénica (Williams MH⁽²⁾, 1998) que permite aumentar el rendimiento en deportes aeróbicos gracias principalmente a la mayor movilización de ácidos grasos, que permiten preservar las reservas de glucógeno muscular (Chelsey A & Col⁽³⁾, 1998), a su acción estimulante sobre el sistema nervioso central (Kaminsky LA⁽⁴⁾, 1998) y a su bloqueo sobre los receptores de adenosina (Eikvar L & Col⁽⁵⁾, 1998). Sin embargo en su proceso de metabolización, donde intervienen el citocromo P4501A2 y las enzimas N-acetiltransferasa y xantina oxidasa, esta última productora durante su actuación del radical superóxido (Vistisen K & Col⁽⁶⁾, 1992), podrían inducir a un mayor daño oxidativo celular.

Por todo ello en el siguiente estudio hemos tratado de comprobar los efectos ergogénicos de la cafeína sobre el rendimiento, así como valorar y cuantificar el estrés oxidativo y sus consecuencias sobre el daño celular (MDA) y los sistemas antioxidantes no enzimáticos (Vitaminas A, C y E) debidos tanto a la actividad física, realización de una prueba de esfuerzo máxima, como a la acción de la cafeína.

MATERIAL Y MÉTODO

La experimentación está basada en un estudio a doble ciego en el cual los sujetos deben realizar una prueba de esfuerzo incremental máxima, bajo dos condiciones diferentes: ingesta de placebo o cafeína.

La prueba de esfuerzo consistía en una ergoespirometría máxima sobre cicloergómetro (Ergometrics

900 de Ergo-line®) con un protocolo ascendente en escalón, partiendo con 100 vatios de carga e incrementando ésta cada dos minutos en 50 vatios hasta los 300 vatios donde la carga incrementaba de 25 en 25 vatios. La respuesta fisiológica en parámetros ergoespirométricos era controlada mediante un *analizador de gases* (MGC, model nº 762014-102) y un *pulsómetro* (Polar® "Sport Tester") con interface (Polar® Advantage interface). Las pruebas se llevaron a cabo con un intervalo temporal de tres días, con el objetivo de favorecer la recuperación de los sujetos y eliminar posibles adaptaciones al esfuerzo. La muestra experimental fue de veinte sujetos no deportistas habituales, no consumidores de cafeína y varones. Las características del grupo de estudio vienen recogidas en la Tabla I.

La cafeína se ingería una hora antes de la prueba, 5 mg/kg de peso, puesto que a partir de estos niveles no parece incrementarse los efectos ergogénicos de la misma (Pasman WJ & Col⁽⁷⁾, 1995).

Se realizó una extracción sanguínea en la vena antecubital junto a la recogida de orina antes y después de las pruebas, así como toma de sudor durante las mismas, con el objetivo de determinar la cantidad de cafeína que se eliminaba por cada una de las vías y su relación con un "posible positivo" en control antidopaje (la cantidad debía ser menor de 12 mg/ml de orina). La cafeína en plasma, orina y sudor, fue analizada en HPLC (*Spectra SERIES P100/UV 100*) con la técnica de Dobrocky, P. & cols⁽⁸⁾, 1994.

En sangre se determinaron igualmente los niveles de lactato extraído de la vena antecubital, que se midieron espectrofotométricamente (kit comercial de Sigma), vitaminas A, E (HPLC con la técnica de Shearer⁽⁹⁾, 1986), vitamina C (HPLC, técnica de Manoharan⁽¹⁰⁾, 1994) y Malondialdehído (HPLC por la técnica de Esterbauer y cols⁽¹¹⁾, 1984, modificada por nosotros) como producto final de la peroxidación lipídica.

Finalmente, los resultados fueron analizados mediante el programa estadístico Statgraf, representán-

TABLA I.-
Características de la muestra experimental.

EDAD (años)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	%MUSCULAR	%GRASO	% OSEO	%RESIDUAL
20,91	175,27	71	53,52	10,11	12,26	24,1
±1,31	±6,1	±5,52	±1,51	±1,09	±0,96	0

dose los valores según su media \pm desviación estándar. Para la comparación de los grupos se utilizó el test de Wilcoxon para muestras apareadas.

RESULTADOS

En la Tabla II, se muestran los resultados ergoespirométricos obtenidos durante las pruebas realizadas, que están expresados bajo los siguientes conceptos: consumo de oxígeno máximo relativo (VO_2 máx) medido en ml/kg/min, volumen de dióxido de carbono absoluto (VCO_2 máx) medido en ml/min, volumen espirado (VE máx) l/min, frecuencia respiratoria máxima (RR máx) medida en respiraciones por minuto, cociente respiratorio máximo (RER máx) y frecuencia cardíaca máxima (FC máx) medida en pulsaciones por minuto.

En la Tabla II podemos observar como la toma de cafeína produjo un aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en todos los parámetros ergoespirométricos, excepto en el RER en el que se produjo un descenso estadísticamente significativo ($p < 0,05$).

En la Tabla III, donde se presentan los niveles alcanzados por la cafeína en plasma, orina y sudor, podemos observar como los mayores niveles se daban en sudor y plasma, en el que algunos de los sujetos superaron los 12 μ g/ml, mientras que en orina no se dio ningún "positivo".

En la Tabla IV, se presentan los datos referentes a lactato plasmático, vitaminas antioxidantes A, E y C; y el MDA, como producto final de los procesos de peroxidación lipídica.

El lactato, como cabría esperar, aumentó tanto con la toma de placebo como de cafeína ($p < 0,01$), siendo más marcado el aumento después de la toma de cafeína. Las vitaminas liposolubles A y E, antioxidantes en medios lipídicos (membrana celular) sufrieron un descenso en sus niveles ($p < 0,05$) en ambas situaciones, siendo más acentuado el mismo en el caso de la toma de cafeína. Por su parte, la vitamina C, antioxidante en los compartimentos hídricos, sufrió un incremento en sus valores plasmáticos tras la prueba, siendo como en los casos anteriores más marcado con la toma de cafeína ($p < 0,01$). El MDA elevó sus valores ($p < 0,05$) en ambas situaciones.

DISCUSIÓN

Atendiendo a los resultados hallados en este estudio, respecto a los parámetros ergoespirométricos, podemos afirmar que la cafeína, administrada en dosis de 5 mg/kg de peso, tiene efectos ergogénicos sobre el rendimiento de los sujetos en una prueba de esfuerzo máxima como ocurrió en otros estudios similares (Williams MH⁽²⁾, 1998). La cafeína permitiría conseguir mayores niveles de consumo máximo de oxígeno.

	TIEMPO	CARGA (w)	FC máx	VO_2 máx	VCO_2 máx	VE máx	RR máx	RER máx
PLACEBO	14'53'' $\pm 4'35''$	300 ± 59.94	187.00 ± 7.39	43.15 ± 5.05	3424 ± 481.20	127.88 ± 21.28	53.38 ± 9.59	1.26 ± 0.12
CAFEINA	15'30''** $\pm 4'54''$	305.5* ± 58.33	191.85* ± 4.85	55.29* ± 7.01	4440* ± 540.08	153.50* ± 16.01	63.50* ± 8.05	1.16* ± 0.07

TABLA II.- Resultados obtenidos en la prueba ergoespirométrica. (* $p < 0,05$).

CAFEÍNA ORINA	CAFEÍNA PLASMA	CAFEÍNA SUDOR
5.61 ± 1.9	7.23 ± 5.28	9.70 ± 7.71

TABLA III.- Niveles de cafeína obtenidos en las distintas vías de eliminación (mg/ml).

	LACTATO		VITAMINA C		VITAMINA E		VITAMINA A		MDA	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
PLACEBO	1.8 ± 0.84	6.88** ± 1.68	6.93 ± 2.65	9.11** ± 3.16	6.55 ± 1.87	6.23* ± 1.51	4.41 ± 1.72	3.97* ± 1.65	31.99 ± 7.88	33.52* ± 8.44
CAFEINA	1.86 ± 0.82	6.97** ± 1.48	4.78 ± 1.23	9.63** ± 4.12	6.35 ± 1.42	6.15* ± 1.07	4.37 ± 1.48	4.05* ± 1.04	33.58 ± 9.12	35.63* ± 9.20

TABLA IV.- Niveles de lactato (mmol/l), antioxidantes no enzimáticos (mg/ml) y MDA (mM). (* $p < 0,05$) (** $p < 0,01$).

no (Doherty M⁽¹²⁾, 1998), debido al retardo en la utilización de glucógeno muscular como consecuencia de una mayor movilización de ácidos grasos en las fases iniciales del ejercicio, como lo indican los valores del RER obtenidos en nuestro estudio en dichas fases (Chelsey A & Col⁽³⁾, 1998; Kaminsky LA & Col⁽⁴⁾, 1998), lo que permitiría un aumento en el tiempo de extenuación (Trice I, Haymes EM⁽¹³⁾, 1995). También parece confirmarse el aumento de la actividad de catecolaminas inducida por la toma de cafeína que estimularía el sistema nervioso central, como indicaron Jackman M. & cols⁽¹⁴⁾ (1996); reflejándose esto en nuestro estudio por un aumento del lactato plasmático, volumen de CO₂, frecuencia respiratoria (RR) y volumen espirado (VE). El aumento de los valores máximos reflejados en la prueba, podría ser motivado, en parte, por una modificación en la percepción del esfuerzo, siendo éste percibido livianamente por el individuo (Cole KJ & Col⁽¹⁵⁾, 1996). Desde el punto de vista de rendimiento, cabe destacar que ninguno de los sujetos sobrepasó, en orina, los límites permitidos de cafeína en los controles antidopaje, como lo pone de manifiesto los resultados obtenidos en la Tabla II. Llama la atención el que los niveles de cafeína detectados en sudor fueron superiores a los de orina, lo que hace suponer a aquél como la más importante vía de eliminación de cafeína.

Así mismo, en este estudio se pone de manifiesto por primera vez, como una simple prueba de esfuerzo de entre 14-15 minutos de duración produce un aumento en el estrés oxidativo de los sujetos que realizaron ambas situaciones (placebo y cafeína), como lo indican los cambios observados en los sistemas antioxidantes plasmáticos no enzimáticos (Vitaminas A, E y C) y en la elevación del MDA plasmático, cambios descritos anteriormente en otras situaciones de esfuerzo (Ortenblad N & cols⁽¹⁶⁾, 1997; Child RB & cols⁽¹⁷⁾, 1998; Sackeck JM, Blumberg JB⁽¹⁸⁾, 2001).

Este estrés oxidativo era mayor bajo la ingesta de cafeína, pues se producían una mayor cantidad de catecolaminas y con ello una mayor producción de radicales libres de oxígeno por una mayor inactivación del metabolismo de las mismas, como lo demuestran los mayores cambios obtenidos en los antioxidantes y MDA.

Por tanto, podemos concluir que la ingesta de cafeína a razón de 5 mg / kg de peso corporal en sujetos no entrenados, además de tener un efecto ergogénico sobre parámetros relacionados con el esfuerzo, también produciría un mayor daño celular debido a los mayores niveles de peroxidación lipídica, como consecuencia del incremento del estrés oxidativo.

B I B L I O G R A F I A

- CAMPILLO ÁLVAREZ JE, MAYNAR MARIÑO M, MARCOS BECERRO JF, MENA ARIAS P.** "Envejecimiento y actividad física", en "Fisiología de la actividad física y el deporte", de Gonzalez Gallego J. 1992; 357, Interamericana McGraw - Hill. Madrid.
- WILLIAMS MH.** "The ergogenics edge: pushing the limits of sports performance". 1998; 149. Human Kinetics. Champaign, IL.
- CHELSEY A, HOWLETT RA, HEIGENHAUSER GJF, HULTMAN E, SPRIET LL.** "Regulation of muscle glycogenolytic flux during intense aerobic exercise after caffeine ingestion". Am J Physiol, 1998; 275:R596-603.
- KAMINSKY LA, MARTIN CA, WHALEY MH.** "Caffeine consumption habits do not influence the exercise blood pressure following caffeine ingestion". Journal Sports Med Phys Fitness, 1998; 38(1):53-8.
- EIKVAR L, KIRKEBOEN KA.** "Receptor mediated effects of adenosine and caffeine". Tidsskr Nor Laegeforen, 1998; 118(9):1390-5.
- VISTISEN K, POULSEN HE, LOFT S.** "Foreign compound metabolism capacity in man measured from metabolites of dietary caffeine". Carcinogenesis, 1992; 13(9):1561-9.
- PASMAN WJ, VAN BAAK MA, JEUKENDRUP AE, DE HANN A.** "The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time". Int J Sports Med, 1995; 16(4):225-30.
- DOBROCKY, P., BENNETT, P.N., NOTARIANNI, L.J.** "Rapid method for the routine determination of caffeine and its metabolites by high-performance liquid chromatography". Journal of Chromatography B, 1994; 652: 104-108.
- SHEARER, MJ.** "Vitamins", en "HPLC of small molecules, a practical approach", de Lim C K. 1986; 157, IRL Press. Oxford.
- MANOHARAN, M., SCHWILLE, P.O.** "Measurement of ascorbic acid in human plasma and urine by high-performance liquid chromatography. Results in healthy subjects and patients with idiopathic calcium urolithiasis". Journal of Chromatography B, 1994; 654:134-139.

- 11 ESTERBAUER, H., LANG, J., ZADREVEC, S., SLATER, T.E.** "Detection of Malondialdehyde by high-performance liquid chromatography". *Methods in Enzymology*, 1984; 105:319-328.
- 12 DOHERTY M.** "The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance". *Int J Sport Nutr*, 1998; 8(2):95-104.
- 13 TRICE I, HAYMES EM.** "Effects of caffeine ingestion on exercise-induced changes during high intensity, intermittent exercise". *Int J Sport Nutr*, 1995; 5(1): 37-44.
- 14 JACKMAN M, WENDLING P, FRIARS D, GRAHAM TE.** "Metabolic catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise". *J Appl Physiol*, 1996; 81(4):1658-63.
- 15 COLE KJ, COSTILL DL, STARTING RD, GOODPASTER BH, TRAPPE SW, FINK WJ.** "Effect of caffeine ingestion on perception of effort and subsequent work production". *Int J Sport Nutr*, 1996; 6(1):14-23.
- 16 ORTENBLAD N, MADSEN K, DJURHUUS MS.** "Antioxidant status and lipid peroxidation after short-term maximal exercise in trained and untrained humans". *Am J Physiol*, 1997; 272(4 Pt 2):R1258-63.
- 17 CHILD RB, WILKINSON DM, FALLOWFIELD JL, DONNELLY AE.** "Elevated serum antioxidant capacity and plasma malondialdehyde concentration in response to a simulated half-marathon run". *Med Sci Sports Exerc*, 1998; 0(11):1603-7.
- 18 SACHECK JM, BLUMBERG JB.** "Role of Vitamin E and oxidative stress in exercise". *Nutrition*, 2001; 17: 809-814.