

Article

Revisiones BJSM: A-Z de los Suplementos Nutricionales: Suplementos Dietarios, Alimentos para la Nutrición Deportiva y Ayudas Ergogénicas para la Salud y el Rendimiento: Parte 12

K. Currell¹, A. Syed², C. E. Dziedzic³, D. S. King⁴, L. L. Spriet⁵, J. Collins⁶, L.M. Castell⁷, S.J. Stear⁸ y L. M. Burke³

¹English Institute of Sport, Loughborough University, Loughborough, UK

²Department of Clinical Neurology, University of Oxford, Oxford, UK

³Australian Institute of Sport, Canberra, Australia

⁴Department of Kinesiology, Iowa State University, Ames, Iowa, USA

⁵Department of Human Health and Nutritional Sciences, University of Guelph, Ontario, Canada

⁶English Institute of Sport, Bisham Abbey Performance Centre, Marlow, UK

⁷University of Oxford, Oxford, UK

⁸Performance Influencers Limited, London, UK

INTRODUCCION

Esta parte de la serie A-Z contiene cinco artículos sobre una amplia variedad de temas. En función de la continuidad, algunos temas en la lista alfabética han sido ubicados más abajo: la curcumina aparecerá junto con los flavonoides; y el Acido Docosahexaenoico y el ácido eicosapentanoico serán ubicados junto con los ácidos grasos. Los compuestos que abordaremos en la parte 12 varían considerablemente en cuanto a composición y a las funciones fisiológicas que desempeñan en el cuerpo. Sin embargo, comparten algunas características comunes, lo que podría ser visto como una descripción genérica de la mayoría de los suplementos que se comercializan para los atletas. Cada uno tiene un mecanismo a través del cual la suplementación podría mejorar el rendimiento deportivo, en base a la mejora de una vía bioquímica u hormonal existente considerada limitante. De vez en cuando la credibilidad de comercialización de cada uno de estos suplementos, y de otros, es impulsada por informes anecdóticos de consumo por algún atleta exitoso, o por su popularidad dentro de una determinada población deportiva. Por ejemplo, la dehidroepiandrosterona alcanzó notoriedad en el ámbito deportivo, cuando el jugador de béisbol, Mark McGwire, dio su testimonio acerca de su uso durante la temporada de 1998 en la que rompió el récord de la liga por disparar jonrones. Alternativamente, la dimetilglicina ha gozado de cierta mística entre los atletas occidentales por ser utilizada por los atletas de los países del bloque del Este. Sin embargo, la característica más importante es que estos productos han recibido poca atención por parte de los científicos del deporte,

en cuanto a la participación en ensayos controlados, aleatorios, bien controlados, específicos para los deportes.

Cisteína y cistina

K. Currell, A. Syed

La cisteína es un aminoácido no esencial y, junto con la glicina y el glutamato, es un precursor importante del tripéptido glutatión. La glicina y el glutamato se encuentran fácilmente disponibles dentro del cuerpo y se cree que la disponibilidad de cisteína es la etapa limitante en la síntesis de glutatión (1). El glutatión es uno de los antioxidantes fundamentales dentro del cuerpo (2) y es un componente esencial de la respuesta inmune (3).

Reid et al (4) realizaron una infusión por vía intravenosa de 150 mg/kg de peso corporal de N-acetilcisteína (NAC) antes de realizar una estimulación eléctrica del músculo tibial anterior hasta la fatiga a 10 o 40 Hz. La infusión con NAC aumentó la producción de fuerza durante la estimulación eléctrica a 10 Hz en un 15%, pero no afectó el rendimiento a 40 Hz. Medved et al. (5) observaron una mejora en el estado redox de la sangre luego de la infusión de NAC durante ejercicios de ciclismo de esprint intermitente, pero no observaron cambios en el rendimiento en el esfuerzo de esprint final. Sin embargo, estos sujetos no eran sujetos entrenados y es posible que el efecto de NAC en retrasar la fatiga pueda ser mayor cuando se tiene un mejor nivel de entrenamiento (6). La ingesta oral de NAC hasta obtener niveles plasmáticos similares a los observados durante la infusión sería muy difícil y podría originar efectos secundarios como náuseas, distensión abdominal y diarrea (5).

Una investigación más reciente analizó el efecto de la suplementación de cistina, un dipéptido de cisteína, junto con teanina, sobre la respuesta inmune frente a la realización de ejercicios de alta intensidad. Los resultados iniciales sugieren que la función inmune mejoró con la suplementación oral de cistina/teanina durante los períodos de entrenamiento de alta intensidad (7).

En conclusión, necesitamos realizar más investigaciones sobre este tema, sobre todo con respecto a la ingesta oral de cisteína y el rendimiento físico; y sobre los efectos que ejercen los suplementos de cistina en la respuesta inmune frente al entrenamiento.

Citocromo C

C. E. Dziedzic

El citocromo C es una pequeña proteína con grupo hemo que se encuentra en las mitocondrias y forma parte de la cadena de transporte de electrones (8). Se ha observado que el entrenamiento de la resistencia (9) y la suplementación con antioxidantes (10) aumentan las concentraciones musculares de citocromo C. Se ha planteado la hipótesis de que la suplementación con citocromo C también aumentaría los niveles musculares, mejoraría el rendimiento físico mediante el aumento de la capacidad máxima de transporte de oxígeno, reduciría la acumulación de lactato en sangre y elevaría el umbral anaeróbico (11, 12).

En uno de los pocos estudios realizados con suplementación en sujetos entrenados, los triatletas consumieron un suplemento que contenía citocromo C (6430 mg/día), además de la inosina, vitamina E y coenzima Q10 (véase el artículo sobre la coenzima Q10 en la Parte 9) durante 28 días antes de realizar una carrera submáxima seguida por ejercicios de ciclismo hasta el agotamiento (11). Al compararlo con el rendimiento del grupo placebo no se observaron diferencias en la resistencia en ciclismo. De manera similar, en un estudio con corredores de resistencia un protocolo de suplementación durante 6 días con un suplemento que contenía citocromo C como componente principal (800 mg/día más otros 800 mg 1 hora antes del test), no se observaron beneficios en el tiempo de carrera hasta el agotamiento, el umbral anaeróbico, ni en los niveles de lactato sanguíneo en comparación con un grupo placebo (12). En ninguno de los estudios se midió la concentración de citocromo C en los músculos.

Sobre esta base, no podemos respaldar el uso de citocromo C como ayuda ergogénica para mejorar la capacidad de realizar ejercicio aeróbico.

Dehidroepiandrosterona

D. S. King

La dehidroepiandrosterona (DHEA) es una "pro-hormona" o un precursor de la testosterona que se encuentra disponible como suplemento de venta sin receta médica en muchos países. Se promociona como un suplemento maravilloso capaz de promover la juventud, virilidad y de mejorar la fuerza y la composición corporal.

En los varones de edades entre 20 y 70 años, la ingesta de una sola dosis de 50-100 mg de DHEA aumenta hasta siete

veces las concentraciones séricas de DHEA y aumenta las concentraciones séricas de androstenediona aproximadamente cuatro veces, pero no se observan variaciones en las concentraciones séricas de testosterona ni de dihidrotestosterona (DHT) (13). En los varones de mayor edad (50-70 años), la ingesta de una sola dosis de 50-100 mg de DHEA aumenta las concentraciones séricas de estradiol en 24-39% con respecto al rango normal mayor. La ingesta prolongada de DHEA en dosis de 50 a 1600 mg/día en hombres de 20-65 años de edad produce aumentos dependientes de la dosis en los niveles séricos de DHEA, sulfato de DHEA y androstenediona, pero no tiene efecto sobre los niveles séricos de testosterona o de DHT (13). Por lo tanto, el consumo de DHEA en los varones aumenta sólo los precursores débiles de las hormonas, y produce poco o ningún aumento en los andrógenos o estrógenos más potentes. La ingesta mas crónica de DHEA en dosis de 50-1600 mg/día en hombres no altera la energía ni el metabolismo de las proteínas, la masa corporal o la masa corporal magra (14). La ingesta de DHEA durante el entrenamiento de resistencia no incrementa las ganancias en la fuerza ni en la masa muscular magra en estudiantes universitarios varones ni en varones de mediana edad (15). Parecería que la DHEA no promueve la pérdida de grasa ni la ganancia de músculo y tampoco mejora las adaptaciones al entrenamiento de resistencia en hombres sanos. Sorprendentemente, la DHEA se clasifica como un esteroide androgénico/anabólico y su consumo está prohibido por la Agencia Mundial Antidopaje y por otros códigos antidopaje.

Dihidroxiacetona fosfato y piruvato

L. L. Spriet

La dihidroxiacetona fosfato (DHAP) y piruvato son metabolitos de tres carbonos de la vía glucolítica. En el músculo esquelético, la vía glucolítica permite la metabolización de la glucosa sanguínea y del glucógeno almacenado. La DHAP se forma en un paso intermedio y en la etapa final de la glucólisis se produce piruvato. Durante el ejercicio aeróbico, el piruvato entra en la mitocondria y es oxidado para producir ATP. No está claro cómo la ingesta de dosis orales de DHAP/piruvato podría influir en el rendimiento deportivo, ya que es poco probable que los compuestos ingeridos puedan alcanzar el músculo esquelético y puedan ejercer un efecto directo sobre el metabolismo. El piruvato es sometido a hidrólisis ácida en el estómago y en el intestino con liberación de dióxido de carbono, por lo que la ingesta de grandes cantidades ocasiona desordenes gastrointestinales (16). Además, el piruvato que se absorbe en la sangre puede ser absorbido y almacenado en el hígado, ya que incluso la dosis aguda más alta tolerable de piruvato (~ 25 g) representa una pequeña cantidad de glucosa (~ 12,5 g). En apoyo de esto, no se observaron aumentos de piruvato en la sangre completa ni en el plasma durante un período de 4 horas después de la ingesta aguda de dosis de 7, 15 y 25 g de piruvato (16). No está claro que es lo que le suceda a la DHAP cuando es ingerida.

Sólo tres estudios han analizado el potencial de DHAP/piruvato para mejorar la capacidad de realizar ejercicios. A pesar de que no se observaron posibles mecanismos ergogénicos, dos estudios informaron una mejora en el tiempo de ejercicio hasta el agotamiento (~ 20%) después de un consumo de ~75 g de DHAP/25 g de piruvato durante 7 días (17, 18). Los autores atribuyeron la mejora a una mayor utilización de la glucosa por el músculo esquelético. Sin embargo, estos estudios utilizaron sujetos no entrenados y los tratamientos no fueron asignados siguiendo una metodología de cegamiento. Un estudio posterior analizó los efectos del piruvato solo en sujetos bien entrenados que consumieron 7 g/día de piruvato o un placebo durante 1 semana y luego realizaron un test de ciclismo hasta el agotamiento al 75-80% del $VO_{2m\acute{a}x}$ (16). No se observaron diferencias en la resistencia de pedaleo (~90 min) entre los tratamientos, y los sujetos no pudieron identificar el suplemento que habían consumido. Sobre la base de estos pocos informes y del hecho que no existiría ningún mecanismo evidente para alterar el metabolismo, varias revisiones han llegado a la conclusión de que el piruvato consumido por vía oral no es ergogénico

En resumen, actualmente no existe una base científica que respalde el consumo de DHAP/piruvato como ayuda ergogénica.

Dimetil Glicina

C. E. J. Collins

La dimetilglicina (N, N dimetilglicina, DMG) es un derivado dimetilado del aminoácido glicina. Se encuentra naturalmente en las células animales y vegetales y es un intermediario en la síntesis de glicina a partir de la degradación de colina. Está implicada indirectamente en una amplia gama de rutas metabólicas a través de la transmetilación. Además la DMG es un ingrediente activo en el ácido pangámico (también llamado vitamina B15), que es otro suplemento con supuestas ventajas para el rendimiento (22).

Se afirma que la DMG puede mejorar las variables metabólicas de rendimiento aeróbico en los seres humanos y, históricamente, este suplemento ha sido utilizado por los atletas soviéticos (23) y por jugadores de fútbol americano (22).

Los estudios realizados con sujetos entrenados no observaron diferencias en la resistencia en las carreras, en la frecuencia cardíaca ni en el $VO_{2m\acute{a}x}$ después de un periodo de tratamiento de 21 días (200 mg/día), (24) o cuando se administraron 135 mg de DMG de forma aguda antes de una prueba en cinta rodante hasta el agotamiento (22) De manera similar, en un

estudio realizado con caballos no se observaron cambios en la función cardiorrespiratoria ni en la producción de lactato (25).

En los seres humanos la potencial capacidad inmunomoduladora de la DMG (26) podría haber sido enmascarada por el diseño del estudio. Los estudios realizados con animales no han podido demostrar una mejora de la inmunidad específica ni en la no específica (27).

Actualmente no hay pruebas suficientes para apoyar la administración de suplementos de DMG en las poblaciones de deportistas.

OBSERVACIONES FINALES

Generalmente los atletas y entrenadores están deseosos de escuchar acerca de la existencia de un nuevo suplemento, que tenga una base "científica" sólida, con testimonios de apoyo por parte de compañeros, e incluso con bendiciones de un estudio piloto u oportunidad de prueba inicial. Por desgracia, los resúmenes de información sobre la mayoría de los productos finalizan con la leyenda "se necesitan más estudio" y/o "actualmente no hay evidencia que apoye el consumo de este producto". Entendemos la frustración de quienes están en el "frente de lucha" en los deportes y quieren una respuesta inmediata. Por otra parte, aunque se promueve la importancia de las decisiones basadas en la evidencia sobre el uso de suplementos y se alienta a los científicos del deporte para que aporten esta base de pruebas, sabemos lo difícil y el tiempo que insume esta tarea. También reconocemos que la ausencia de evidencia de un efecto positivo no es lo mismo que la evidencia de ausencia de un efecto positivo. Por lo tanto, en algunos casos, tenemos que ser capaces de leer entre líneas la información disponible para determinar cuales productos merecen mas nuestra valiosa aunque limitada atención científica.

De los cinco productos analizados en la parte 12, cuatro poseen poca o ninguna evidencia firme de que su consumo por parte de los atletas pueda tener efectos beneficiosos (ergogénicos). La suplementación con citocromo C ha sido estudiada principalmente en combinación con otros componentes y no se ha establecido si el suministro exógeno de citocromo C aumenta realmente el contenido muscular. Con respecto a la DHEA, además de que los estudios sobre la misma no han tenido resultados positivos, recordemos que es una sustancia prohibida al igual que otros esteroides anabólicos/androgénicos. Estudios sobre DHAP junto con piruvato sólo han producido efectos positivos en dos ensayos no controlados, mientras que un estudio realizado solamente con piruvato no observó ningún efecto sobre la capacidad de realizar ejercicios. Ninguno de los dos estudios realizados en humanos o en animales con suplementos de DMG han observado ningún tipo de mejora en la capacidad de realizar ejercicios.

Sin embargo el resumen sobre cisteína arribó a la conclusión de que existe cierta evidencia de un efecto positivo sobre la inmunocompetencia. Por lo tanto, se sugiere que este producto sea investigado con mayor detalle para dilucidar si puede aportar beneficios potenciales para los atletas.

Conflicto de intereses. Ninguno.

Procedencia del estudio y revisión por pares: Sin revisión externa por pares.

REFERENCIAS

1. Rimaniol A.C., Mialocq P., Clayette P., et al. (2001). Role of glutamate transporters in the regulation of glutathione levels in human macrophages. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* 281:C1964-70.
2. Powers S.K., Jackson M.J. (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol. Rev.* 88: 1 2 4 3 - 7 6 .
3. Dröge W., Sculze-Osthoff K., Mihm S., et al. (1994). Functions of glutathione and glutathione disulfide in immunology and immunopathology. *FASEB J.* 8:1131-8.
4. Reid M.B., Stokic D. S., Koch S. M., et al. (1994). N-acetylcysteine inhibits muscle fatigue in humans. *J. Clin. Invest.* 94:2468 - 74 .
5. Medved I., Brown M.J., Bjorksten A.R., et al. (2003). N-acetylcysteine infusion alters blood redox status but not time to fatigue during intense exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 94:1572-82.
6. Medved I., Brown M.J., Bjorksten A.R., et al. (2004). Effects of intravenous N-acetylcysteine infusion on time to fatigue and potassium regulation during pro-longed cycling exercise. *J. Appl. Physiol.* 96:211-17.
7. Murakami S., Kurihara S., Koikawa N., et al. (2009). Effects of oral supplementation with cystine and theanine on the immune

- function of athletes in endurance exercise: randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*73:817-21 .
8. Malatesta F., Antonini G., Sarti P., et al. (1995). Structure and function of a molecular machine: cytochrome c oxidase. *Biophys. Chem.*54:1-33.
 9. Holloszy J.O., Coyle E.F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J. Appl. Physiol.* 56:831-8.
 10. Davis J.M., Murphy A., Carmichael M. D., et al. (2008). Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*296:1071-7.
 11. Snider I.P., Bazzarre T.L., Murdoch S.D., et al. (1992). Effects of coenzyme athletic performance system as an ergogenic aid on endurance performance to exhaustion. *Int. J. Sport. Nutr.*2:272-86.
 12. Faria I.E., Faria E.W., Parker D.L. (2002). Effect of cytochrome C supplementation on aerobic running performance. *JEPonline* 5: 3 5 - 4 0.
 13. Brown G.A., Vukovich M., King D. S. (2006). Testosterone prohormone supplements. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 1451 - 61 .
 14. Welle S, Jozefowicz R, Statt M . (1990). Failure of dehydroepiandrosterone to influence energy and protein metabolism in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 1990;71:1259 - 6 4.
 15. Brown G.A., Vukovich M.D., Sharp R.L., et al. (1999). Effect of oral DHEA on serum testosterone and adaptations to resistance training in young men. *J. Appl. Physiol.* 87: 2274- 83.
 16. Morrison M.A., Spriet L.L., Dyck D.J. (2000). Pyruvate ingestion for 7 days does not improve aerobic performance in well-trained individuals. *J. Appl. Physiol.*89:549-56.
 17. Stanko R.T., Robertson R.J., Spina R.J., et al. (1990). Enhancement of arm exercise endurance capacity with dihydroxyacetone and pyruvate. *J. Appl. Physiol.*68:119-24.
 18. Stanko R.T., Robertson R.J., Galbreath R.W., et al. (1990). Enhanced leg exercise endurance with a high-carbohydrate diet and dihydroxyacetone and pyruvate. *J. Appl. Physiol.*69:1651-6.
 19. .Dyck D.J. (2004). Pyruvate and dihydroxyacetone. In : *Wolinsky I , Driskell J A, eds. Nutritional ergogenic aids. CRC Press. 445-54.*
 20. Juhn M. (2003). Popular sports supplements and ergogenic aids. *Sports. Med.* 33:921-39.
 21. Sukala W.R. (1998). Pyruvate: beyond the marketing hype. *Int. J. Sport Nutr.*8:241-9.
 22. Bishop P.A., Smith J.F., Young B. (1987). Effects of N,N-dimethylglycine on physiological response and performance in trained runners. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 27:53-6.
 23. Graber C.D., Goust J.M., Glassman A.D., et al. (1981). Immunomodulating properties of dimethylglycine in humans. *J. Infect. Dis.* 143:101-5.
 24. Harpaz M., Otto R.M., Smith T.K. (1985). The effect of N' N'-dimethylglycine ingestion upon aerobic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:287.
 25. Rose R.J., Schlierf H. A., Knight P. K., et al. (1989). Effects of N,N-dimethylglycine on cardio-respiratory function and lactate production in thoroughbred horses performing incremental treadmill exercise. *Vet. Rec.*125:268-71.
 26. Reap E.A., Lawson J.W. (1990). Stimulation of the immune response by dimethylglycine, a nontoxic metabolite. *J. Lab. Clin. Med.* 115:481-6.
 27. Weiss R.C. (1992). Immunologic responses in healthy random-source cats fed N,N-dimethylglycine-supplemented diets. *Am. J. Vet. Res.* 53: 829-33.

Cita Original

K. Currell, A. Syed, C. E. Dziedzic, .D. S. King, L. L. Spriet, J. Collins, L.M. Castell, S.J. Stear and L. M. Burke. (2010). A- Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance—Part 12. *Br. J. Sports Med.* 44:905-907. doi:10.1136/bjism.2010.077479