



EJERCICIO DE RESISTENCIA Y SUPLEMENTACIÓN DE ANTIOXIDANTES: ¿TIENEN SENTIDO O NO? – PARTE 2

Scott K. Powers y Kurt J. Sollanek | Departamento de Fisiología Aplicada y Kinesiología | Universidad de Florida
| Estados Unidos de América

PUNTOS CLAVE

- El ejercicio prolongado al 65-80% del VO_2max incrementa la producción de radicales en los músculos esqueléticos en contracción. Esta producción de radicales inducida por el ejercicio generalmente resulta en un daño oxidativo en las fibras musculares esqueléticas y contribuye a la fatiga muscular.
- Los suplementos antioxidantes están ampliamente disponibles y son consumidos comúnmente por atletas de resistencia. Existen argumentos a favor y en contra del uso de suplementación con antioxidantes.
- El argumento más fuerte que apoya la suplementación con antioxidantes existe en atletas de resistencia que no consumen una dieta bien equilibrada. Específicamente, si en una evaluación nutricional se encuentra que el atleta tiene un consumo deficiente de antioxidantes (por ej., consumo por debajo de la ingesta diaria recomendada [RDA, por sus siglas en inglés] de vitaminas antioxidantes), la suplementación en la dieta diseñada para alcanzar la RDA estándar de vitaminas antioxidantes parece estar justificada.
- El principal argumento en contra de la suplementación con antioxidantes es la posibilidad de que las mega dosis de antioxidantes (por ej., vitamina E y C) pueden reducir la respuesta al entrenamiento del ejercicio de resistencia.
- Aunque la producción de radicales libres inducida por el ejercicio puede contribuir a la fatiga muscular durante el ejercicio de resistencia, los estudios han demostrado que la suplementación con antioxidantes comunes (por ej., vitamina E y C) no mejoran el rendimiento del ejercicio. No obstante, existen algunas recomendaciones de que el tratamiento con N-acetilcisteína puede retrasar la fatiga en tasas de trabajo entre el 65-80% del VO_2max .

INTRODUCCIÓN

Está establecido que los músculos esqueléticos en contracción producen radicales y que la tasa de producción de radicales en los músculos se intensifica en función de la intensidad y duración del ejercicio (Powers & Jackson, 2008; Powers et al., 2011a). Este incremento en la producción de radicales inducido por el ejercicio generalmente resulta en un daño oxidativo tanto para proteínas musculares como para lípidos (es decir, estrés oxidativo). Más aún, la producción incrementada de radicales inducida por el ejercicio es un factor contribuyente para la fatiga muscular durante el ejercicio de resistencia prolongado (Reid, 2008). El reconocimiento de que la producción de radicales inducida por el ejercicio puede dañar las fibras musculares esqueléticas y contribuir a la fatiga muscular ha inspirado a muchas personas que realizan ejercicio de resistencia de forma regular a consumir suplementos con antioxidantes.

Este artículo de Sports Science Exchange es el segundo de una serie de dos partes en el cual se discute el ejercicio de resistencia, estrés oxidativo y suplementación con antioxidantes. La parte 1 de esta serie introduce el estrés oxidativo inducido por el ejercicio y discute tanto los antioxidantes endógenos (antioxidantes celulares) como los exógenos (es decir, los antioxidantes de la dieta). El objetivo de este reporte es abordar dos preguntas importantes relacionadas al ejercicio de resistencia y la suplementación con antioxidantes: 1) ¿Deberían suplementarse los atletas de resistencia con antioxidantes para protegerse contra el estrés oxidativo inducido por el ejercicio?; y 2) ¿La suplementación con antioxidantes mejora el rendimiento en el ejercicio de resistencia? El artículo comienza con un debate sobre si está justificada la suplementación con antioxidantes en individuos que se encuentran en entrenamiento de ejercicio de resistencia.

¿EL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA INCREMENTA LA NECESIDAD DE ANTIOXIDANTES DE LA DIETA?

Al realizar una búsqueda en Internet utilizando el término “antioxidantes” se arroja una gran cantidad de sitios que brindan información sobre los antioxidantes. La base científica de la información contenida en esos sitios es extremadamente variable. No obstante, muchos sitios concluyen que el consumo de antioxidantes promueve una buena salud y reduce el riesgo de muchas enfermedades (por ej., cáncer, enfermedades cardíacas, etc.). Por lo tanto, no es sorprendente que los suplementos nutricionales que contienen antioxidantes estén ampliamente disponibles para comprarse tanto en tiendas como a través de vendedores por Internet. Por ejemplo, los antioxidantes más comúnmente ofrecidos por las compañías de suplementos incluyen la vitamina E, vitamina C y beta-carotenos. Existen muchos otros productos antioxidantes incluyendo los extractos de uva, resveratrol, luteína, licopeno, ácido alfa lipoico, complejos de té verde y muchos otros. La gran cantidad de compañías que producen y venden productos antioxidantes sugiere que la suplementación con antioxidantes está ampliamente extendida. Los estudios revelan que la incidencia de suplementación con antioxidantes varía de un país a otro y a lo largo de los diferentes segmentos de la población. Sin embargo, el uso de suplementos antioxidantes es alto alrededor del mundo, como lo reportó un estudio que ~62% de atletas juveniles de pista y campo utilizan suplementos nutricionales (Nieper, 2005). En los siguientes segmentos resaltamos argumentos tanto a favor como en contra de la suplementación con antioxidantes en atletas de resistencia.

ARGUMENTOS A FAVOR DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ANTIOXIDANTES

Los que apoyan la suplementación con antioxidantes para atletas de resistencia argumentan que debido a que el entrenamiento riguroso resulta en incremento en la producción de radicales dañinos a los músculos esqueléticos, la suplementación con antioxidantes es esencial para proteger las fibras del músculo esquelético contra el daño oxidativo. Esta idea se apoya en evidencia experimental que demuestra que la suplementación con vitamina C mitiga suficientemente la producción de radicales libres inducidos por el ejercicio (Ashton et al., 1999).

Otro argumento utilizado para apoyar la suplementación con antioxidantes es que algunos atletas de resistencia tienen dietas que son deficientes en antioxidantes (Van Erp-Baart et al., 2004). Los atletas que regularmente restringen su consumo de energía, aquellos que tienen prácticas severas para reducción de peso, quienes eliminan ciertos grupos de alimentos o que consumen dietas mal equilibradas son los que están en mayor riesgo de deficiencia de vitaminas. Solo unos cuantos antioxidantes de la dieta tienen designada una ingesta diaria recomendada (RDA). Las RDAs para éstos incluyen: vitamina C – 90 mg para hombres y 75 mg para mujeres, vitamina E – 15 mg y selenio – 55 µg. Por lo tanto, la suplementación con un antioxidante puede ser benéfica para los individuos que consumen una dieta baja en uno o más de estos antioxidantes; sin embargo, se recomienda consultar a un nutriólogo antes de comenzar con un régimen de suplementación.



Figura 1. Los efectos de la suplementación con antioxidantes en el entrenamiento de resistencia. El ejercicio de resistencia riguroso incrementa la producción de radicales libres en el músculo esquelético. Los antioxidantes obtenidos de la dieta o de suplementos pueden proteger contra el daño de los radicales libre. Sin embargo, los beneficios de la suplementación son debatidos debido a que se ha demostrado que grandes cantidades de antioxidantes son poco efectivas o potencialmente dañinas.

ARGUMENTOS EN CONTRA DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ANTIOXIDANTES

En contraste con el argumento de que la suplementación con antioxidantes es justificada para los atletas de resistencia, existen diversos argumentos contra la suplementación con antioxidantes para los atletas de resistencia. Primero, no existe evidencia de que la producción de radicales inducida por el ejercicio en el músculo esquelético es dañina para la salud humana. De hecho, está bien establecido que el ejercicio regular reduce el riesgo de mortalidad y por lo tanto, parece poco probable que la producción de radicales inducida por el ejercicio sea poco saludable (Lee et al., 2010). Más aún, el entrenamiento de resistencia regular promueve un incremento de los antioxidantes enzimáticos en las fibras musculares resultando en una protección endógena mejorada contra el daño oxidativo mediado por el ejercicio (Powers & Jackson, 2008). Por lo tanto, este incremento inducido por el entrenamiento en antioxidantes endógenos puede ser adecuado para proteger contra el daño oxidativo de otras fuentes. Finalmente, si un atleta de resistencia mantiene una dieta isocalórica que es nutricionalmente bien equilibrada, es probable que aquel individuo no necesite antioxidantes suplementarios por encima de aquellos consumidos en la dieta. Se han alcanzado conclusiones similares de otros investigadores en este campo (Margaritis & Rousseau, 2008; Rodríguez et al., 2009).

Tal vez los argumentos más fuertes contra la suplementación con antioxidantes para los atletas de resistencia son los siguientes. Primero, nuevos estudios revelan que la suplementación con antioxidantes puede prevenir las adaptaciones inducidas por el ejercicio en el músculo esquelético (Gomez-Cabrera et al., 2008; Ristow et al., 2009). De hecho, hay evidencia convincente que indica que la producción de especies de oxígeno reactivo (ROS, por sus siglas en inglés) inducidas por el ejercicio sirven como una señal necesaria para promover la expresión de numerosas proteínas musculares esqueléticas que incluyen enzimas antioxidantes, proteínas mitocondriales y proteínas de choque térmico (Powers & Jackson, 2008; Powers et al., 2011a). Otro argumento contra la suplementación con antioxidantes en atletas es que la mayoría de la investigación reciente no apoya la idea de que la suplementación con antioxidantes sea benéfica para la salud humana. Por ejemplo, en un meta-análisis de 68 pruebas aleatorizadas con suplementación con antioxidantes (total de 232,606 humanos participantes) se concluyó que la suplementación de la dieta con beta-carotenos, vitamina A y vitamina E no mejora la salud y puede incrementar la mortalidad (Bjelakovic et al., 2007). Este reporte detallado concluyó que los roles de la vitamina C y el selenio en la mortalidad humana son poco claros y requieren más estudio antes de que se pueda emitir una recomendación.

¿PUEDE LA SUPLEMENTACIÓN CON ANTIOXIDANTES MEJORAR EL RENDIMIENTO EN EJERCICIO DE RESISTENCIA?

La fatiga muscular se define comúnmente como una reducción en la capacidad del músculo esquelético para generar fuerza (Gandevia, 2001). La fatiga muscular inducida por el ejercicio es un proceso

multifactorial y las causas específicas de la fatiga varían en función del tipo de ejercicio que produce la fatiga muscular (Ament & Verkerke, 2009). Por ejemplo, los principales factores contribuyentes a la fatiga durante las contracciones de alta intensidad completadas durante actividades de entrenamiento de fuerza serán diferentes de aquellas que contribuyen a la fatiga primaria durante contracciones repetidas de baja intensidad que se llevan a cabo durante actividades de resistencia. Sin embargo, existe evidencia creciente que indica que la producción de radicales en el músculo esquelético contribuye a la fatiga durante el ejercicio prolongado a intensidades submáximas (por ejemplo, 65-80% del $VO_2\text{max}$) (Reid, 2008; Lamb & Westerblad, 2011). Como se mencionó previamente, la producción de radicales se incrementa en los músculos esqueléticos que se están contrayendo y los niveles bajos de radicales juegan un papel esencial en la regulación de la producción de fuerza muscular (Powers & Jackson, 2008). De hecho, se requieren niveles bajos de radicales en los músculos esqueléticos en contracción para alcanzar la producción óptima de fuerza (Powers & Jackson, 2008). Sin embargo, los niveles altos de radicales pueden inducir daño oxidativo a las proteínas musculares y a los lípidos y disminuir la producción de fuerza muscular (Reid, 2001). Por lo tanto, existe una base fisiológica que sugiere que la suplementación con antioxidantes mejoraría el rendimiento muscular.

En este sentido, cuando se utilizan preparaciones experimentales in-vitro (por ej., preparaciones aisladas de músculo animal), se ha demostrado que los antioxidantes pueden retrasar la fatiga durante las contracciones prolongadas a baja intensidad (Andrade et al., 1998). Adicionalmente, los estudios bien controlados en animales indican que la captación de radicales vía los antioxidantes puede proteger al músculo esquelético contra el daño oxidativo y también retrasar la fatiga durante el ejercicio submáximo prolongado (Reid, 2008). En contraste, los antioxidantes no son efectivos en retrasar la fatiga muscular en animales que llevan a cabo ejercicio de alta intensidad (Reid, 2008).

¿Los radicales contribuyen a la fatiga muscular inducida por el ejercicio en humanos? La respuesta a esta pregunta se mantiene en debate, pero un creciente número de estudios sugieren que la administración aguda del antioxidante N-acetilcisteína (NAC) retrasa la fatiga muscular durante ejercicio submáximo prolongado (Powers et al., 2011b). Específicamente, la administración de NAC ha demostrado retrasar la fatiga muscular en humanos durante ejercicios submáximos (por ej., músculos de una extremidad estimulados eléctricamente, ejercicio de pedaleo voluntario y ejercicio de prensión de mano repetitivo) (Reid, 2008). Similar a los ya mencionados estudios con animales, la NAC no retrasa la fatiga de los músculos humanos durante el ejercicio de alta intensidad (es decir, cercano al $VO_2\text{max}$) (Reid, 2008). Un efecto adverso potencial es que el consumo de NAC puede producir náuseas en algunos individuos. Por lo tanto, la suplementación con NAC no mejorará el rendimiento en el ejercicio de resistencia en aquellos atletas que experimenten náuseas al utilizar esta sustancia. Es importante comentar que, los efectos a largo plazo en la salud de la suplementación con NAC siguen siendo desconocidos.

En contraste con los hallazgos de que la administración aguda de NAC puede retrasar la fatiga muscular durante el ejercicio submáximo prolongado, existe poca evidencia que apoye el concepto de que el uso de otros suplementos antioxidantes más comunes (por ej., beta-carotenos, vitamina E y/o vitamina C) puedan mejorar el rendimiento humano en el ejercicio (Peternej & Coombes, 2011; Hernández et al., 2012). Más aún, no existe evidencia de que la suplementación con antioxidantes mejore la recuperación del ejercicio de resistencia (Peternej & Coombes, 2011; Hernández et al., 2012).

IMPlicACIONES PRÁCTICAS

- Los antioxidantes existen en pequeñas cantidades en los alimentos y por lo tanto, existe un riesgo limitado de una “sobredosis” de antioxidantes si se consume una dieta rica en frutas y verduras. Sin embargo, el consumo de mega dosis de antioxidantes a través de suplementos en la dieta (por ej., vitamina E) podría mitigar los efectos del entrenamiento asociados con el ejercicio de resistencia. Por lo tanto, no se recomienda el consumo de mega dosis de suplementos antioxidantes
- La suplementación con los antioxidantes comunes de la dieta (por ejemplo, vitamina E y C) no mejora el rendimiento del ejercicio ni acelera la recuperación del ejercicio.
- Se ha demostrado que el tratamiento con el antioxidante N-acetilcisteína mejora el rendimiento humano en el ejercicio durante el ejercicio submáximo. Sin embargo, la N-acetilcisteína está asociada con náuseas en algunos individuos y el impacto en la salud del consumo a largo plazo de la N-acetilcisteína aún se desconoce.

RESUMEN

La pregunta sobre si los atletas deben o no consumir suplementos con antioxidantes sigue siendo un tema importante y altamente debatido. Existen argumentos a favor y en contra de la suplementación con antioxidantes, por lo que se requiere realizar más investigación para establecer firmemente si la suplementación con antioxidantes es benéfica o dañina para los atletas (Figura 1). Sin embargo, al día de hoy, existe evidencia científica limitada para recomendar los suplementos antioxidantes a los atletas o a otros individuos físicamente activos. De hecho, la evidencia actual sugiere que los atletas deben tener cuidado al considerar suplementarse con dosis altas (mega dosis) de antioxidantes.

Aunque la producción de radicales inducida por el ejercicio puede contribuir a la fatiga muscular durante el ejercicio de resistencia, las investigaciones no apoyan la idea de que los suplementos con antioxidantes comúnmente utilizados (por ej., vitamina E o vitamina C) puedan mejorar el rendimiento humano en el ejercicio. Una excepción podría ser la suplementación con NAC, la cual se ha mostrado que mejora la capacidad de resistencia durante el ejercicio prolongado al 65-80% del $VO_2\text{max}$. Sin embargo, los efectos a largo plazo de la suplementación con NAC son desconocidos.

REFERENCIAS

- Ament, W., and G.J. Verkerke (2009). Exercise and fatigue. *Sports Med.* 39:389- 422.
- Andrade, F.H., M.B. Reid, D.G. Allen, and H. Westerblad (1998). Effect of hydrogen peroxide and dithiothreitol on contractile function of single skeletal muscle fibres from the mouse. *J. Physiol.* 509:565-575.
- Ashton, T., I.S. Young, J.R. Peters, E. Jones, S.K. Jackson, B. Davies, and C.C. Rowlands (1999). Electron spin resonance spectroscopy, exercise, and oxidative stress: an ascorbic acid intervention study. *J. Appl. Physiol.* 87:2032- 2036.
- Bjelakovic, G., D. Nikolova, L.L. Gluud, R.G. Simonetti, and C. Gluud (2007). Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *JAMA* 297:842- 857.
- Gandevia, S. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.* 81:1725-1789.
- Gomez-Cabrera, M.C., E. Domenech, M. Romagnoli, A. Arduini, C. Borrás, F.V. Pallardo, J. Sastre, and J. Vina (2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 87:142-149.
- Hernandez, A., A. Cheng, and H. Westerblad (2012). Antioxidants and skeletal muscle performance: "Common knowledge" vs. experimental evidence. *Front. Physiol.* 3:46.
- Lamb, G.D., and H. Westerblad (2011). Acute effects of reactive oxygen and nitrogen species on the contractile function of skeletal muscle. *J. Physiol.* 589:2119- 2127.
- Lee, D.C., E.G. Artero, X. Sui, and S.N. Blair (2010). Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *J. Psychopharmacol.* 24:27-35.
- Margaritis, I., and A.S. Rousseau (2008). Does physical exercise modify antioxidant requirements? *Nutr. Res. Rev.* 21:3-12.
- Nieper, A. (2005). Nutritional supplement practices in UK junior national track and field athletes. *Br. J. Sports Med.* 39:645-649.
- Peternejl, T.-T., and J.S. Coombes (2011). Antioxidant supplementation during exercise training. *Sports Med.* 41:1043-1069.
- Powers, S.K., and M.J. Jackson (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol. Rev.* 88:1243- 1276.
- Powers, S.K., L.L. Ji, A.N. Kavazis, and M.J. Jackson (2011a). Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Compr. Physiol.* 1:941-969.
- Powers, S.K., W.B. Nelson, and M.B. Hudson (2011b). Exercise-induced oxidative stress in humans: cause and consequences. *Free Radic. Biol. Med.* 51:942- 950.
- Reid, M.B. (2001). Invited Review: redox modulation of skeletal muscle contraction: what we know and what we don't. *J. Appl. Physiol.* 90:724-731.
- Reid, M.B. (2008). Free radicals and muscle fatigue: Of ROS, canaries, and the IOC. *Free Radic. Biol. Med.* 44:169-179.
- Ristow, M., K. Zarse, A. Oberbach, N. Klötting, M. Birringer, M. Kiehntopf, M. Stumvoll, C.R. Kahn, and M. Bluher (2009). Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106:8665-8670.
- Rodriguez, N.R., N.M. Di Marco, and S. Langley (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41:709-731.
- Van Erp-Baart, A., W. Saris, R. Binkhorst, J. Vos, and J. Elvers (2004). Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. *Int. J. Sports Med.* 10:S11-S16.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Powers S. (2014). Endurance Exercise and Antioxidant Supplementation: Sense or Nonsense? Part 2. *Sports Science Exchange* 138, Vol. 27, No. 138, 1-4, por el Dr. Samuel Alberto García Castrejón.