4.2 Otros suplementos

4.2.1 Nitratos dietarios

Ha habido mucho interés en los nitratos dietarios en los últimos años. Quizás todo esto comenzó con el trabajo del docente Andy Jones, quien utilizó jugo de la raíz de remolacha para administrar nitrato dietario (NO_3^-), con el fin de estudiar el metabolismo. Se observó que el jugo de remolacha, una buena fuente de nitrato dietario (NO_3^-), reduce el costo de oxígeno del ejercicio y puede mejorar el desempeño de la resistencia en algunas circunstancias. También se han observado efectos sobre la presión arterial y la función muscular. Los estudios han examinado los efectos de ingerir nitrato en forma de nitrato de sodio ($NaNO_3$) o fuentes vegetales de nitrato (generalmente jugo de remolacha), que contienen aproximadamente 6 mmoles de nitrato, unas pocas horas antes de desempeñar un ejercicio agotador prolongado.

Mecanismos

Antes de que el nitrato dietario se absorba en el intestino, se concentra en las glándulas salivales y se secreta en la cavidad bucal, donde una parte se convierte en nitrito por las bacterias comensales (Jeukendrup y Gleeson, 2018). Cuando se ingiere, ingresa a la circulación sistémica donde es bioactivo como nitrito o se reduce a NO. Existen varios mecanismos teóricos de acción: Se sabe que el NO es un factor en la regulación del flujo sanguíneo local, que causa vasodilatación cuando un músculo recibe menos o usa más oxígeno. Sin embargo, esto no explica la reducción en el costo de oxígeno durante el ejercicio. En todo caso, el nitrito y el NO pueden actuar más directamente, ya que el NO es capaz de inhibir la actividad de la citocromo oxidasa, al reducir la conversión del oxígeno en agua.

Además, el NO puede aumentar la eficiencia de la fosforilación oxidativa mitocondrial al aumentar la proporción de P/O (es decir, se forma más ATP por la cantidad de oxígeno consumido). Las mitocondrias del músculo esquelético extraídas de las biopsias musculares después de la suplementación con nitrato muestran una mayor proporción de P/O, y la proporción de P/O mitocondrial mejorada se correlaciona con la reducción en el costo de oxígeno durante el ejercicio (Larsen et al., 2011). Mecánicamente, el nitrato reduce la expresión de la ATP/ADP translocasa, una proteína involucrada en la conductancia de protones. Por lo tanto, parece que el nitrato dietario tiene efectos profundos en la función mitocondrial basal. También existe la posibilidad de que el NO pueda reducir el costo de ATP del ejercicio al disminuir la liberación de ión calcio (Ca^{2+}) del retículo sarcoplásmico al proteger los canales de la liberación de Ca^{2+} inducida por las especies reactivas de oxígeno, ya que es energéticamente costoso volver a capturar el Ca^{2+} a través de la Ca^{2+}-ATPasa (Bailey et al., 2010; A. E. Jeukendrup y Gleeson, 2018). El NO también promueve la biogénesis mitocondrial, lo cual posiblemente mejora la adaptación al ejercicio posterior. Desde estos descubrimientos, se han realizado numerosas investigaciones que examinan los efectos de la suplementación con nitrato dietario, tanto agudos como crónicos, sobre el desempeño del ejercicio en una variedad de actividades en sujetos que van desde personas sedentarias hasta deportistas de élite. Los resultados de estos estudios sugieren que el nitrato puede ser menos efectivo como ayuda ergogénica en sujetos altamente entrenados o de élite en

> comparación con aquellos que son sedentarios o activos de manera recreativa (Boorsma, Whitfield y Spriet, 2014). (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

La suplementación con nitrato dietario es eficaz para aumentar la concentración de nitrito en plasma (el NO es difícil de medir) y se ha demostrado que reduce el costo de oxígeno del ejercicio de intensidad submáxima (Bailey et al., 2009; Lansley, Winyard, Fulford, et al., 2011; Larsen, Weitzberg, Lundberg y Ekblom, 2007), mejora la tolerancia al ejercicio de alta intensidad, mejora la economía de ciclismo (es decir, una mayor potencia de salida para la misma tasa de consumo de oxígeno) y mejora el rendimiento de la prueba de contrarreloj de ciclismo de 4 y 16 km (Lansley, Winyard, Bailey, et al., 2011). Además, el consumo diario de 0.5 litros de jugo de remolacha durante 6 días puede reducir la presión arterial en reposo, disminuir el costo de oxígeno al entrenar de manera intensa en la cinta de correr en aproximadamente un 7 % y aumentar el tiempo para llegar al agotamiento en un 15 %. También hay algunas pruebas de que se puede mejorar el desempeño del ejercicio intermitente de alta intensidad con la ingesta de nitrato (Bond, Morton y Braakhuis, 2012; Wylie et al., 2016).

> En la mayoría de los estudios, se utilizó jugo de remolacha o un concentrado de jugo de remolacha para administrar el nitrato dietario. Esto se debe a que la remolacha es una de las fuentes más ricas de nitrato. Sin embargo, también es posible administrar el nitrato a través de vegetales con alto contenido de nitratos, aparte de la remolacha, el apio, el berro, la espinaca, la lechuga, la arúgula, el ruibarbo, el repollo y el brócoli. Pero para consumir suficiente nitrato para ver efectos significativos, (se necesitan de 300 a 400 mg de nitratos). Esto significa al menos 200 g de remolacha, 150 g de espinaca o 100 g de arúgula. El jugo de remolacha concentrado es por lo tanto una forma más práctica de consumo. Es probable que la dosis óptima sea 600 mg de nitrato, equivalente a 2 «tomas» de remolacha concentrada de 70 ml cada una, aunque también se ha demostrado que hay un beneficio en el desempeño en estudios que utilizan de 300 a 400 mg, equivalentes a 500 ml de jugo de remolacha o una sola toma de 70 ml. Tanto las cargas agudas como las crónicas tienen un efecto, se recomienda consumir una o dos tomas de 70 ml al día durante tres a cinco días antes de la competición y de dos a tres horas antes de que comience el partido. Además de eso, sería una buena idea aumentar la ingesta general de nitratos dietarios al incluir más vegetales de hojas verdes. (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

El jugo de remolacha es actualmente el medio más popular y conveniente de ingerir cantidades suficientes de nitrato dietario para que tenga un impacto en el desempeño y la captación de oxígeno durante el ejercicio. Sin embargo, la palatabilidad sigue siendo uno de los mayores desafíos. Incluso con el jugo de remolacha, e incluso con las tomas de remolacha, existen importantes desafíos prácticos, especialmente cuando se suministran dosis más altas durante varios días. La aceptabilidad y la tolerancia deben controlarse cuidadosamente.

Un estudio reciente de respuesta a la dosis (Wylie y cols. 2013a) descubrió que la tolerancia al ejercicio mejoró con 8 mmol de nitrato, pero no con 4 mmol; sin embargo, no hubo una mejoría adicional en el desempeño cuando se ingirieron 16 mmol de nitrato. Por lo tanto, la

dosis efectiva es de 6 a 8 mmoles de nitrato que se encuentra en aproximadamente 500 ml de jugo natural de remolacha o 70 ml de una bebida más concentrada (Beet-It™). Esto debe ser ingerido de 2 a 3 horas antes del ejercicio y la ingestión crónica de 6 a 8 mmoles de nitrato por día durante varios días puede ser un poco más efectiva que una sola dosis aguda antes del ejercicio.

> Hay un estudio en futbolistas. En este estudio, 32 jugadores de fútbol de sexo masculino, que juegan en el primer equipo de un club de la liga *amateur* holandesa de 2.ª o 3.ª división, participaron en un estudio aleatorizado de doble ciego cruzado. Todos los sujetos participaron en dos días de prueba en los que se evaluó el desempeño en la carrera intermitente de alta intensidad mediante la prueba Yo-Yo IR1. Los jugadores consumieron jugo de remolacha rico en nitrato (140 mL; ~800 mg de nitrato/día; BR) o reducido en nitrato (PLA) durante seis días subsiguientes, con al menos ocho días de retirada entre los ensayos. Los investigadores encontraron que 6 días de ingesta de jugo de remolacha aumentaron las concentraciones de nitrito y nitrato en plasma y saliva en comparación con el PLA y mejoraron el desempeño de la prueba Yo-Yo IR1 en 3,4 ± 1,3 %. Seis días de ingestión de BR mejoran efectivamente el desempeño del ejercicio intermitente de alta intensidad en futbolistas entrenados. (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Nitrato de sodio

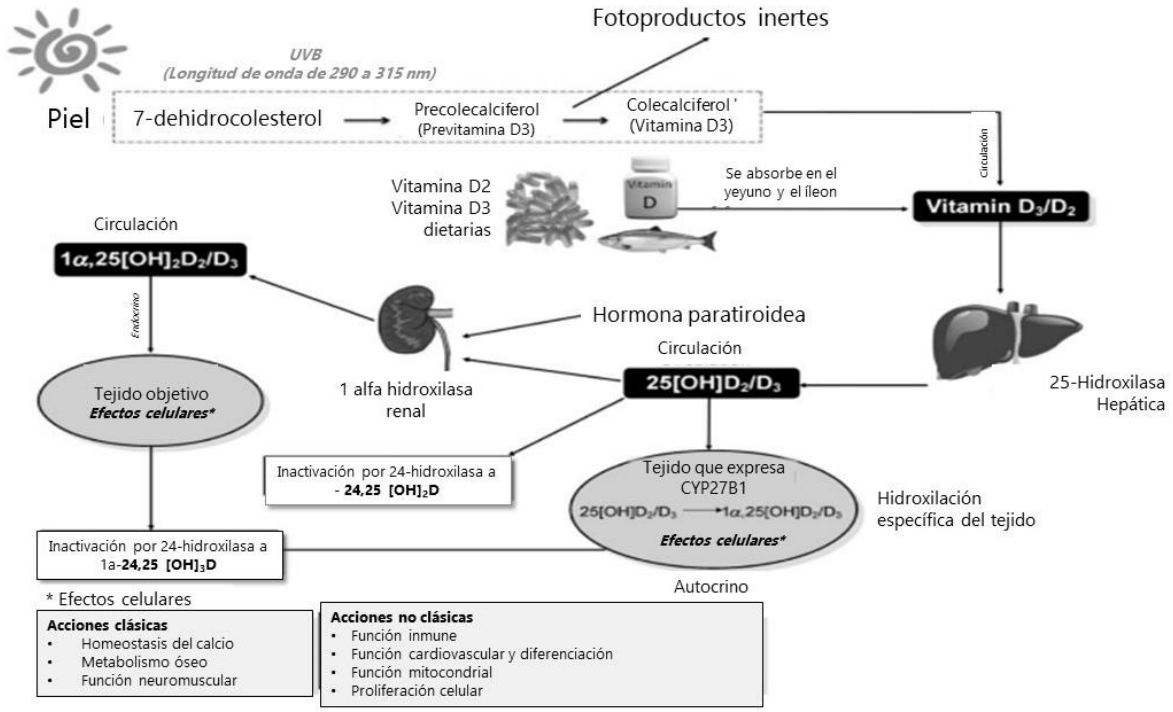
El nitrato de sodio es una fuente química de nitrato (NO_3^-) que se ha utilizado en algunos estudios experimentales para confirmar que la ingesta aguda de nitrato antes del ejercicio puede reducir el costo de oxígeno del ejercicio y mejorar el desempeño de la resistencia. Sin embargo, se prefieren las fuentes naturales de nitrato dietario, como el jugo de remolacha (consultar la sección anterior de este capítulo), como un suplemento ergogénico para los deportistas de resistencia y los jugadores de partidos porque existe un riesgo mucho menor de sobredosis, lo que podría provocar efectos tóxicos que son nocivos para la salud.

4.2.2 Vitamina D

En la última década, se ha visto un aumento exponencial en el interés por la vitamina D. Esto no solo es visible en las ventas de vitamina D sino también en el número de publicaciones sobre la vitamina D. Sin embargo, también existe mucha confusión e interpretaciones erróneas de las pruebas disponibles. Esto ha generado la existencia de una suplementación sin orientación de cantidades a veces muy grandes de vitamina D, especialmente en los deportes. A menudo se cree que la mayoría de los deportistas tienen una deficiencia de vitamina D o que al menos tienen un consumo insuficiente. También se cree a menudo que la suplementación con vitamina D ayudará al desempeño. La respuesta a estas preguntas es "depende". Depende de cómo definamos deficiencia o insuficiencia; depende del individuo y de la época del año. Sin embargo, está claro que la vitamina D debe verse como algo que es biológicamente esencial, no como algo que es una ayuda ergogénica. La siguiente sección se basa en (A. Jeukendrup, 2018c) y (A. Jeukendrup, 2018b)

La vitamina D se obtiene principalmente a través de la exposición de la piel a los rayos UVB a través de la luz solar (80-90 %), y una pequeña cantidad (10-20 %) generalmente proviene de la dieta. Los estudios indican que durante los meses de invierno, los deportistas que viven en latitudes superiores a 30 °N no obtienen suficiente luz solar para sintetizar la vitamina D_3 en su piel y, en consecuencia, pueden desarrollar un estado inadecuado o deficiente de vitamina D. Sin embargo, aún se discute, incluso entre los científicos, qué implica un estado inadecuado o deficiente y cómo se puede medir. (Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2C9YZOY)

Figura 5: Representación esquemática de las vías metabólicas y sintéticas de la vitamina D



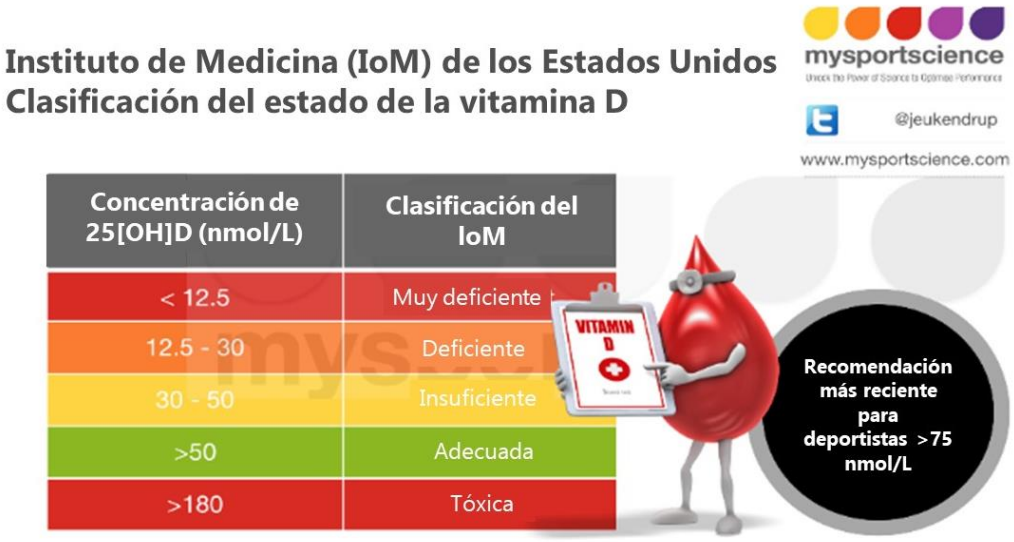
Fuente: Owens, Fraser y Close, 2015, https://bit.ly/2QzFHYu.

La vitamina D se obtiene a través de la síntesis dérmica, un proceso autorregulado que produce vitamina D3 o fotoproductos inertes cuando se logra una producción suficiente. La vitamina D también se obtiene en las formas D2 y D3 de la dieta. Tanto la producción endógena como la ingesta exógena https://bit.ly/2QzFHY elevan las concentraciones séricas de vitamina D, que se someten a dos etapas de hidroxilación (a través de la 25-hidroxilasa hepática y la 1α-hidroxilasa renal o tejidos diana que expresan CYP27B1) para la activación. El 1α-25$[OH]_2$D activo ejerce sus efectos a través del VDR y estimula rápidos efectos no genómicos y genómicos. La inactivación del 1α-25$[OH]_2$D activo ocurre mediante la hidroxilación en C-24 catalizada por la enzima 24-hidroxilasa. (Owens, Fraser y Close, 2015, https://bit.ly/2QzFHYu).

Qué constituye exactamente una deficiencia o insuficiencia de vitamina D está sujeto a un debate continuo. El estado de la vitamina D generalmente se evalúa al medir 25[OH]D, uno de sus metabolitos. Sin embargo, hay muchos metabolitos que pueden medirse y la falta de comprensión de los metabolitos clave en la vía de la vitamina D puede llevar a recomendaciones erróneas. Las pautas más utilizadas (del Instituto de Medicina o IoM) se refieren a concentraciones de 25[OH]D, que es la suma de 25[OH]D_2 y 25[OH]D_3. Estos metabolitos son biológicamente inactivos, pero se utilizan como indicadores de las concentraciones de las formas activas.

Existen varias técnicas analíticas, y es posible que estas diferentes técnicas puedan dar diferentes concentraciones. El estándar de oro es a través de LC-MS/MS (cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem), pero esto no se usa muy a menudo. Es importante tener en cuenta que las mediciones pueden variar considerablemente, y algunos laboratorios pueden informar siempre valores bajos (o altos). Es posible que los métodos más baratos no siempre se correlacionen bien con el estándar de oro. Las recomendaciones del IoM son relativamente antiguas y se basan casi en su totalidad en el rol de la vitamina D en el metabolismo óseo.

Figura 6: Clasificación del estado de la vitamina D según el Instituto de Medicina de los Estados Unidos



Fuente: Jeukendrup, 2018b, http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

Especialmente en los deportes, el problema es no establecer la cantidad mínima que se debe ingerir para evitar la deficiencia. Lo importante es la ingesta necesaria para que sea «óptima». Este interrogante genera mucho debate entre los expertos, pero se cree que las concentraciones de 25 (OH) D deberían ser de >75 nmol/l.

Para una revisión más exhaustiva de la bibliografía, se remite al lector a algunas excelentes revisiones recientes (Owens, Allison y Close, 2018; Owens et al., 2015). A continuación, nos centraremos en las preguntas básicas:

1. ¿Cuáles son los efectos de la vitamina D?
2. ¿Debemos tener una suplementación con vitamina D?
3. Si es así, ¿cuándo?
4. ¿Y cuánto?

Efectos de la vitamina D

Originalmente, el rol de la vitamina D se estudiaba principalmente en relación con la salud ósea. La vitamina D es necesaria para la absorción normal del calcio dietario, y la deficiencia de esta vitamina se asocia con huesos frágiles. Además, la vitamina D tiene un rol en la función inmune y muchos estudios muestran que la deficiencia de vitamina D podría estar relacionada con una función inmune reducida. Pero la vitamina D también se ha asociado con la función muscular. Se ha sugerido que la suplementación con vitamina D podría afectar la fuerza muscular, la resistencia y el rendimiento deportivo.

Este último ha recibido una atención considerable durante la última década, y el consenso general en la actualidad es que la deficiencia de vitamina D podría afectar negativamente el rendimiento deportivo debido a la influencia de la vitamina D en la función muscular. Sin embargo, no hay pruebas suficientes de un número limitado de estudios transversales sobre el estado de la vitamina D y estudios sobre la suplementación con vitamina D3 longitudinales, aleatorizados y controlados con placebo en deportistas como para concluir que la vitamina D es un potenciador directo del desempeño (Girgis, Clifton-Bligh, Turner, Lau y Gunton, 2014). Jeukendrup, 2018b, http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

Los estudios transversales que investigan la influencia del estado de la vitamina D en el desempeño han producido resultados contradictorios. En estos estudios, se utiliza una sección transversal de la población (es decir, una cantidad de deportistas), y se mide tanto el desempeño como el estado de la vitamina D para ver si existe una correlación. Dada la cantidad de factores que influyen en el desempeño (que no fueron controlados) y el número relativamente pequeño de sujetos en estos estudios, tal vez no sea sorprendente que estos estudios no proporcionaran una respuesta clara.

Por lo tanto, el profesor Neil Walsh y su equipo en la Universidad de Bangor se propusieron realizar 2 estudios: En el primero, se estudió la relación entre el estado de la vitamina D y un número bastante grande (casi 1000) de hombres y mujeres. El segundo estudio proporcionó luz solar simulada segura o suplementos de vitamina D3 para ver si se podían lograr mejoras en el desempeño.

En el primer estudio, todos los 967 participantes completaron una carrera de 1,5 millas y se evaluaron la elevación dinámica máxima y la potencia explosiva (Carswell et al., 2018). Todos los participantes también donaron sangre para el análisis de 25[OH]D y se encontró que durante el invierno solo el 9 % de los hombres y el 36 % de las mujeres tenían suficiente vitamina D. Cuando los investigadores relacionaron el estado de la vitamina D con las medidas de desempeño, encontraron que existía una correlación entre el estado de la vitamina D y el desempeño de la resistencia. Este efecto estuvo presente tanto en hombres como en mujeres. El estado de la vitamina D explicó aproximadamente el 5 % de la variación en el

desempeño. Cada aumento de 1 nmol/L en 25[OH]D generó una carrera de 1,5 millas de 0,42 segundos más rápida. No hubo tales correlaciones con la elevación dinámica máxima o la potencia explosiva.

En el estudio 2 (Carswell et al., 2018), 137 hombres recibieron ya sea un placebo, luz solar simulada o suplementos de vitamina D_3. Ambos tratamientos (luz solar y suplementos) son efectivos para lograr la suficiencia de vitamina D (en el 97 % de todos los participantes). Sin embargo, el desempeño no se vio afectado por la suplementación. Los autores argumentan que tal vez la duración de la suplementación (12 semanas) no fue suficiente para ver efectos significativos.

Esta nueva publicación se suma a la bibliografía y proporciona algunos datos nuevos interesantes. Los autores también reconocen que hay algunas limitaciones. Por ejemplo, en el estudio 1, donde se observaron correlaciones, no es posible determinar cuál es la causa y cuál es el efecto. Es posible que los niveles más altos de vitamina D puedan mejorar el desempeño. También es posible que las personas con mejor desempeño pasen más tiempo bajo el sol y tengan un mejor estado de vitamina D.

Como un mensaje práctico, los autores sugieren que la suplementación debe comenzar antes del inicio de la temporada de invierno para evitar la disminución, en lugar de intentar reparar una deficiencia. Jeukendrup, 2018b, http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

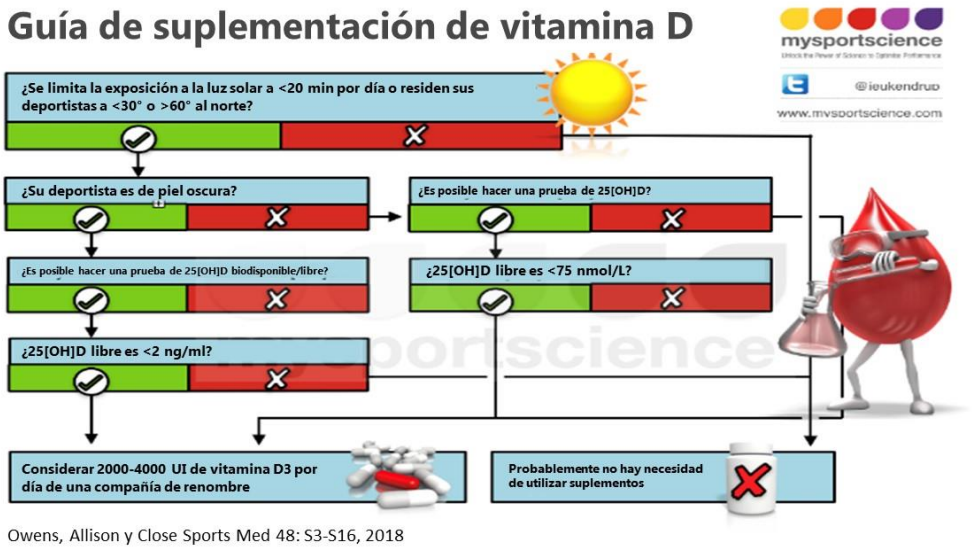
De la bibliografía disponible, parece evidente que existe una gran variación interindividual en la concentración basal de vitamina D, incluso en la misma parte del año. Hay numerosos informes de todo el mundo que sugieren que la deficiencia y la insuficiencia de vitamina D están generalizadas entre las comunidades deportivas (Allison y cols., 2014; Bescos García y Rodríguez Guisado, 2011; Magee y cols., 2013; Wolman y cols., 2013). Es posible que esto signifique que la función fisiológica normal y, por lo tanto, el desempeño se vean comprometidos. También está claro que la suplementación puede prevenir la disminución del estado de la vitamina D que se observa a menudo durante los meses de invierno.

Sin embargo, es ciertamente cuestionable si la suplementación con vitamina D tiene algún efecto en deportistas que no tienen una deficiencia de vitamina D.
Por otro lado, se sabe que en la práctica deportiva en este momento, a veces se prescriben o se usan dosis muy altas de vitamina D. Owens y cols. Informaron consumos de 1000 UI por día y de hasta 100 000 UI por semana. La suplementación con vitamina D en dosis altas puede ser tóxica y, aunque se conocen pocos casos de toxicidad por vitamina D, se debe tener precaución y se debe evitar la suplementación frecuente con dosis altas (a menos que exista una indicación médica muy clara).

Owens y cols. (Owens et al., 2018) desarrollaron un árbol de decisión para el uso de suplementos de vitamina D. Esto ayudará a tomar decisiones. Lo mejor es basar las decisiones en las mediciones del estado de la vitamina D. Por lo tanto, si es posible, se debe medir el estado de la vitamina D. Aquí es donde se pone un poco complicado. El estado de la vitamina D a menudo se mide al evaluar el metabolito 25[OH]D en la sangre. Sin embargo, se ha demostrado que es posible que esta medida «estándar» no sea una buena

indicación en deportistas con una piel más oscura. En este caso, se debe medir el 25[OH]D biodisponible o libre. Si los valores indican deficiencia o insuficiencia, se debe considerar la suplementación. Jeukendrup, 2018b, http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

Figura 7: Árbol de decisión para la suplementación con vitamina D



Fuente: Owens, Allison, and Close, 2018, tal como se representa en mysportscience Jeukendrup, 2018c, https://goo.gl/kZoja9

«Si se decide realizar una suplementación, se recomienda una dosis de al menos 2000 UI hasta 4000 UI.

La suplementación debe considerarse solo durante los meses en que la exposición de la piel a los rayos UVB a través de la luz solar es limitada». Jeukendrup, 2018b, http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

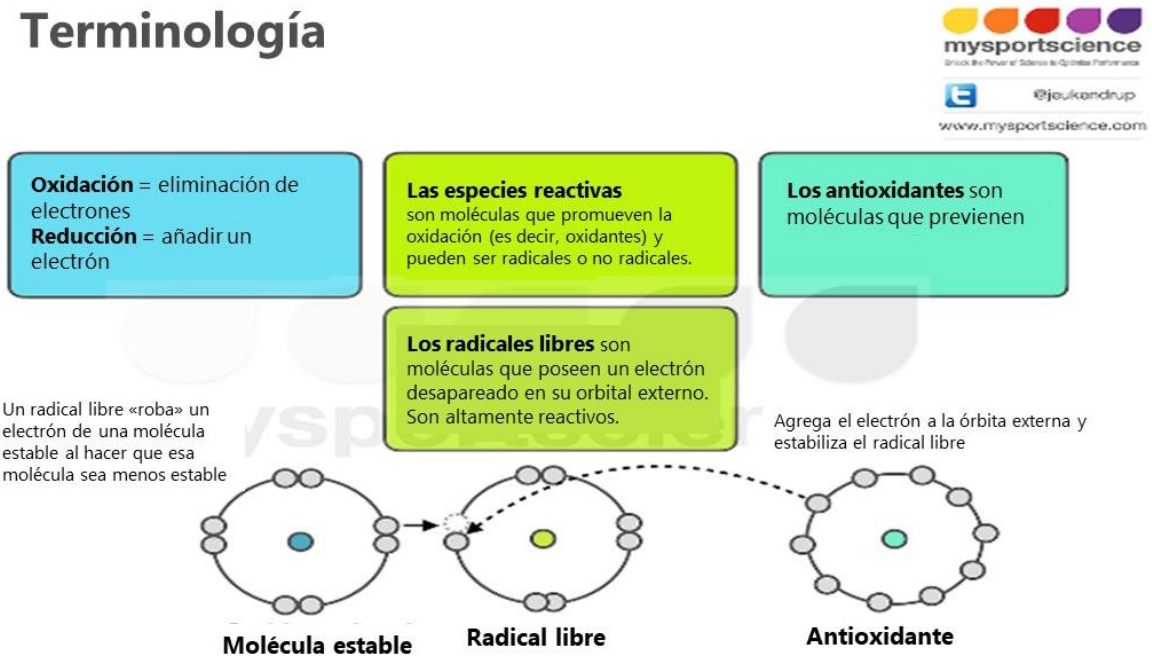
4.2.3 Antioxidantes

Los antioxidantes son una clase muy popular de suplementos, aunque parece haber mucha confusión sobre su uso. «Los antioxidantes están en todas partes: en los alimentos, en los suplementos, en los productos para el cuidado de la piel, en los champús, etc. A menudo se asocian con la salud. Por otro lado, hay informes que indican que los antioxidantes pueden afectar la adaptación al entrenamiento». (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE) Esta sección analiza el rol de los antioxidantes y se basa en un artículo incluido en mysportscience (Jeukendrup, 2018a).

Primero, debemos entender qué son los antioxidantes. La oxidación es la eliminación de electrones (lo contrario de las reducciones, que agregan electrones). Los antioxidantes a menudo se consideran moléculas que

destruyen los radicales libres. Los radicales libres son moléculas que poseen un electrón no pareado en su orbital externo. Son altamente reactivos. También hay especies reactivas. Estas son moléculas que promueven la oxidación (es decir, oxidantes) y pueden ser radicales o no radicales. Los antioxidantes son moléculas que impiden la oxidación. Los radicales son una especie química altamente reactiva capaz de dañar componentes de la fibra muscular como las proteínas y los lípidos. (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

Figura 8: Algunos términos comunes en la bibliografía sobre antioxidantes



Fuente: (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

Debido a la naturaleza altamente reactiva de los radicales libres, son muy difíciles de medir. Reaccionan de manera muy rápida y los electrones se mueven de una molécula a otra, lo que hace que sea casi imposible medirlos. Por lo tanto, a menudo medimos algunos de los biomarcadores del estrés oxidativo para obtener una indicación. Medimos lípidos, proteínas o ADN que han sido oxidados. La suposición es que el biomarcador que medimos es un reflejo del estrés oxidativo, y no siempre es así. (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

Muchos estudios miden resultados que tienen poco que ver con el estrés oxidativo, por lo que es importante no basar nuestros consejos prácticos en función de estas mediciones.

El ejercicio físico aumenta la producción celular de especies de oxígeno reactivo (EOR) en el músculo, el hígado y otros órganos. Contrario al saber popular, NO existen pruebas de que la fuente sea el aumento de producción

> mitocondrial. Scott no dudó en señalar que no hay pruebas para respaldar el razonamiento simplista de que el ejercicio requiere más oxígeno, más oxidación en el sitio donde se produce la oxidación (mitocondrias). Originalmente, las EOR se consideraban perjudiciales y, por lo tanto, una causa probable de daño celular asociado con el agotamiento. (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

Durante las décadas de 1980 y 1990, la mayoría suponía que la producción de EOR inducida por la actividad muscular era citotóxica para las fibras de la musculatura esquelética. Sin embargo, cada vez más pruebas indican que la mayor producción de EOR desempeña un rol importante en la regulación de las vías de señalización que se requieren para promover la adaptación del músculo esquelético en respuesta al ejercicio y la inactividad muscular (Powers, Duarte, Kavazis y Talbert, 2010).

> Sin embargo, la antigua postura todavía se ve mucho en los medios de prensa masivos. En la última década, las pruebas muestran que las ERO actúan como señales que son importantes (entre otras funciones) para la adaptación al entrenamiento. Por lo tanto, las ERO pueden ser consideradas como positivas, ¡no negativas!
>
> Por supuesto, es necesario prevenir la oxidación excesiva, y el organismo tiene varios mecanismos para esto. Existen numerosas enzimas en el cuerpo con una capacidad antioxidante. Estas enzimas son el sistema de defensa más importante.
>
> Los antioxidantes dietarios, cuando llegan al sitio de oxidación, se pueden usar como un antioxidante solo una vez. Se agotan y, por lo tanto, necesitamos grandes cantidades de antioxidantes exógenos para que estos sean efectivos, y estos antioxidantes deben estar en el sitio específico donde se produce la oxidación. Es probable que cualquier suplemento solo proporcione pequeñas cantidades de antioxidantes exógenos y, por lo tanto, el impacto de estos, en relación con el sistema antioxidante endógeno, es pequeño. Las enzimas antioxidantes en nuestros cuerpos se pueden usar una y otra vez y estas enzimas se regulan de manera creciente (aumentan) con el entrenamiento. Muchos estudios han demostrado que el entrenamiento aumenta la expresión de enzimas antioxidantes clásicas, como la superóxido dismutasa y la glutatión peroxidasa. Por lo tanto, cuanto más ejercicio hagamos, más enzimas produciremos y más protegidos estaremos, independientemente de la ingesta de antioxidantes (S. Powers, Nelson y Larson-Meyer, 2011). Se puede encontrar una discusión más detallada sobre el rol de los antioxidantes en varias revisiones (Konig, Wagner, Elmadfa y Berg, 2001; Powers y Jackson, 2008; Powers, Ji, Kavazis y Jackson, 2011).
>
> Muchos estudios han demostrado ahora que las dosis altas de antioxidantes en realidad eliminan la señal para la adaptación al entrenamiento y que se deterioran las adaptaciones al entrenamiento (Gomez-Cabrera et al., 2008). Este efecto negativo de la suplementación con antioxidantes se tratará con más detalle en una sección sobre nutrición periodizada.
>
> Por lo tanto, es incorrecta la idea de que siempre se debe recomendar la suplementación con antioxidantes en el ejercicio.

Si bien los antecedentes teóricos pueden ser sólidos, no existen pruebas científicas que recomienden mayores cantidades de antioxidantes a las personas físicamente activas, más allá de la cantidad proporcionada por una nutrición sana y equilibrada.

1. No hay pruebas que indiquen que el entrenamiento físico requiere suplementación con antioxidantes más allá de los antioxidantes normales de una dieta bien balanceada.
2. La suplementación dietaria de antioxidantes puede desempeñar un rol cuando se restringe el consumo de alimentos o cuando se determina clínicamente una deficiencia dietaria de antioxidantes (¡algo inusual!).
3. NO hay pruebas de que los antioxidantes tengan un efecto positivo en la recuperación.
4. Hay pocas o ninguna prueba de que los antioxidantes mejoren el rendimiento.
5. Existen pruebas emergentes de que la suplementación con antioxidantes en dosis altas puede reducir la adaptación al entrenamiento. (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

Figura 9: Antioxidante para deportistas

Fuente: (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

«Las implicaciones prácticas son bastante directas.
No hay necesidad de suplementación con antioxidantes si siguen una dieta con frutas y verduras variadas; este es un medio sensato de obtener un equilibrio de antioxidantes exógenos. Los estudios no han demostrado ventajas de una suplementación con antioxidantes y las dosis altas de antioxidantes pueden ser perjudiciales y deben evitarse». (Jeukendrup, A, 2018, https://bit.ly/2K9n7VE)

4.2.4 Ácidos grasos omega-3

El aceite de pescado es una fuente natural de ácidos grasos omega-3 de cadena larga, incluidos tanto el ácido docosahexaenoico como el ácido eicosapentaenoico. Un ácido graso omega-3 es un ácido graso poliinsaturado (PUFA), lo que significa que contiene dos o más vínculos dobles con uno de los vínculos dobles en el tercer carbono del extremo metilo. Los PUFA se consideran nutrientes esenciales porque el cuerpo humano no puede fabricarlos en cantidades apreciables. Los ácidos grasos omega-3 se pueden encontrar principalmente en pescados grasos (ver Tabla 2).

Tabla 2: Contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (n-3) de varias fuentes de alimentos de consumo común

Tipo de alimento	g EPA + DHA por porción de 100 g	Tamaño de porción habitual	Número de porciones equivalentes a 1 filete de verdel
Verdel	3,2	81 g (1 filete)	-
Sardinas	1,9	130 g (1 filete)	1,1
Salmón de criadero	1,4	94 g (1 filete)	2
Salmón salvaje	0,7	94 g (1 filete)	3,9
Atún enlatado	0,2	112 g (1 lata drenada)	11,6
Lomo de bacalao	0,2	140 g (1 lomo)	9,3
Filete de atún	0,1	120 g (1 filete)	21,6
Macroalgas alimentadas	0,05	125 g	41,5
Pollo	0,02	145 g (1 pechuga)	89,4
Cordero	0,01	125 g	207,4
Cerdo	0,01	100 g (1 lomo)	259,2
Carne de vaca	0,01	125 g	207,4

DHA = ácido docosahexaenoico; EPA = ácido eicosapentaenoico.

Fuente: Adaptado de Sprague y cols. {Sprague, 2016 #12795}

Los ácidos grasos omega-3 incluyen ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido α/γ-linolénico (ALA), cuyas pequeñas cantidades pueden convertirse en EPA y DHA dentro del organismo. Las fuentes alimenticias de ácidos grasos omega-3 incluyen fuentes de base vegetal, tales como semillas de linaza, aceite de linaza, nueces, mantequillas de nueces, algas, semillas, aceite de soya y aceite de colza para el ALA, mientras que tanto el EPA como el DHA se encuentran dentro de fuentes animales como el pescado (p. ej., bacalao, verdel, salmón, atún), los aceites de pescado y el aceite de kril (Tabla 2). «Las grasas omega-3 han sido el foco de una gran cantidad de investigaciones sobre el desempeño cognitivo y el ejercicio, ya que se sabe que se incorporan a las membranas de las células, mejoran la síntesis de proteínas musculares, disminuyen la inflamación y mejoran la función cognitiva; y todo esto tiene implicaciones en el desempeño y la salud de los deportistas». (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Síntesis de proteínas musculares

Algunos estudios han sugerido que los ácidos grasos omega-3 desempeñan un rol en la síntesis de proteínas musculares. Aunque la mayoría de los estudios se han realizado en poblaciones de más edad (>60 años) o animales, ahora también hay algunos datos sobre deportistas.

> En un estudio, la ingesta de ácidos grasos omega-3 parece dar como resultado una mayor activación del complejo proteico conocido como el objetivo molecular/de mamífero del complejo rapamicina 1 (mTORC1) durante los períodos de infusiones altas de insulina y aminoácidos en adultos mayores (Smith et al., 2011a). La actividad de mTORC1 es necesaria para el ejercicio de resistencia, una mayor disponibilidad de aminoácidos y la leucina para aumentar la síntesis de proteínas musculares; y también se necesita mTORC1 para que el músculo se regenere después de una lesión (Heaton et al., 2017). En un estudio de seguimiento, los mismos autores encontraron que la respuesta anabólica a la infusión de insulina y aminoácidos fue mayor después de la suplementación diaria con 4 g de omega-3 de cadena larga (incluidos 1,86 g de EPA y 1,50 g de DHA) durante 8 semanas (Smith et al., 2011b). Además, un estudio más reciente del mismo laboratorio (Smith et al., 2015) sugiere que cuando los niveles de insulina y aminoácidos son altos, p. ej., después de una comida abundante que contiene carbohidratos y proteínas, las cantidades adecuadas de ácidos grasos omega-3 pueden mejorar la síntesis de proteínas musculares a través de la activación de mTORC1. Se necesita más investigación para determinar si estos hallazgos se extienden a los deportistas de élite.
>
> Muchas formas de ejercicio, incluidos el entrenamiento resistido y los partidos de fútbol, generan cantidades significativas de daño muscular y este daño puede acumularse a medida que avanza la temporada. Una de las respuestas naturales al daño es una respuesta inflamatoria dentro del músculo que promueve adaptaciones que fortalecen el músculo y lo hacen más resistente a la lesión. Aunque un poco de inflamación puede ser esencial para la adaptación normal al entrenamiento, demasiada inflamación puede perjudicar/retrasar la capacidad del músculo para recuperarse después del ejercicio. Se sabe que los ácidos grasos omega-3 tienen propiedades antiinflamatorias. Tanto el DHA como el EPA disminuyen la expresión de citoquinas inflamatorias por los leucocitos y también generan una familia de mediadores antiinflamatorios llamados resolvinas (Calder, 2006). El DHA también altera la actividad de las células fagocíticas, como los neutrófilos y los macrófagos, que son los iniciadores de la inflamación después del daño muscular inducido por el ejercicio (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Varios estudios han demostrado que la ingestión de EPA y DHA puede disminuir el daño muscular de aparición tardía (DMAT) después del ejercicio excéntrico. En un estudio de este tipo, (Tartibian, Maleki y Abbasi, 2009) sujetos no entrenados consumieron 1,8 g/d de un suplemento de omega-3 (incluidos 0,32 g de EPA y 0,22 g de DHA) durante 30 días antes de completar un protocolo de ejercicio excéntrico de extensión de rodilla. «Los sujetos que tomaron el suplemento de omega-3 informaron reducciones en el dolor muscular percibido y mostraron un mejora en el rango de movimiento de la rodilla 48 horas después del ejercicio, incluso con esta dosis baja. Un estudio similar, que utilizó una dosis diaria más alta de aceites omega-3 (incluidos 2,0 g de EPA y 1,0 g de DHA), también mostró una disminución en el DMAT, 48 horas después de una sesión de ejercicio

excéntrico (Jouris, McDaniel y Weiss, 2011)». (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7). Se requiere investigación adicional para confirmar efectos similares en personas con mayor entrenamiento, pero parece que los suplementos de omega-3 tienen el potencial para mejorar la recuperación del músculo después de un ejercicio dañino.

Los ácidos grasos omega-3 que se ingieren se incorporarán a varias membranas y, por lo general, se piensa que esto mejorará la función de esas membranas. Por ejemplo, cuando se incorpora a las membranas de los eritrocitos, se piensa que esto hará que los eritrocitos se vuelvan más «fluidos» y, en teoría, esto significa que el flujo a través de los capilares sería más fácil y que la administración de oxígeno podría ser mejor.

> El entrenamiento físico mejora la capacidad de deformación de los glóbulos rojos y cambia la composición de AG de las membranas hacia un mayor porcentaje de AG insaturados, por lo que el entrenamiento físico podría encubrir la fluidez mejorada en condiciones de reposo (Kamada, Tokuda, Aozaki y Otsuji, 1993). La mayor fluidez de la membrana puede ser especialmente importante cuando la captación de oxígeno se vuelve limitante, como ocurre durante el ejercicio en condiciones de hipoxia.
>
> Esta teoría fue estudiada a finales de la década de 1980 por Guezennec, Nadaud, Satabin, Léger, and Lafargue (1989), quienes sugirieron que el aumento de la fracción de AG poliinsaturados (PUFA) en los fosfolípidos de las membranas de eritrocitos mejora la fluidez de la membrana y aumenta la capacidad de deformación de los glóbulos rojos (flexibilidad), lo que genera una mejora del suministro de oxígeno periférico. Llevaron a cabo un estudio en el que 14 sujetos de sexo masculino se dividieron en dos grupos; un grupo recibió una dieta normal y el otro recibió una dieta rica en aceite de pescado durante 6 semanas. La fracción de ácidos grasos omega-3 aumentó en las membranas de eritrocitos, pero no se observó ningún cambio en la capacidad de deformación de los glóbulos rojos en condiciones de reposo. Durante el ejercicio hipobárico, la capacidad de deformación de los glóbulos rojos disminuyó menos con el consumo de aceite de pescado. Brilla y Landerholm (1990) estudiaron los efectos de la ingesta de aceite de pescado y el entrenamiento con ejercicios en 32 varones sedentarios y encontraron que el entrenamiento con ejercicios generó un aumento de VO_2 máximo, mientras que la suplementación con aceite de pescado no tuvo ningún efecto. Oostenbrug y cols. (1997) tampoco encontraron efectos en las características de la membrana, el VO_2 máximo o el desempeño.
>
> Varios estudios, incluido un estudio de Fontani y cols. (2005), también sugieren que las mejoras en la función cognitiva, el tiempo de reacción y la capacidad de atención se deben a la suplementación con ácidos grasos omega-3, lo que tiene una importancia potencial para muchos partidos de equipo y deportes de raqueta. (Jeukendrup y Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

El Instituto de Medicina de los Estados Unidos recomienda que los hombres consuman 1,6 g por día de ALA, pero, aunque en la actualidad no existen recomendaciones establecidas para la ingesta de EPA y DHA, la ingestión de aproximadamente 1 g al día de estos dos ácidos grasos parece ser apropiada para obtener los beneficios descritos anteriormente. Una posible desventaja podría ser que los efectos antiinflamatorios de

estos ácidos grasos se añadan a los efectos antiinflamatorios e inmunosupresores del entrenamiento de resistencia intensivo y empeoren el riesgo de infección para los deportistas, pero hasta ahora no hay pruebas directas para confirmar esto.

En conclusión, las pruebas sobre la suplementación con ácidos grasos omega-3 para los deportistas son ambiguas y se recomienda incluir buenas fuentes de EPA y DHA en la dieta, y asegurarse de que el suministro de estos ácidos grasos se incremente a través de la dieta en lugar de usar suplementos.

En este módulo, discutimos 8 suplementos. Algunos de estos suplementos podrían considerarse para un día de partido. Otros suplementos tendrían que ser ingeridos durante un plazo más largo y otros suplementos podrían ser una parte importante de la preparación durante la temporada. De todos los suplementos en el mercado, discutimos siete de ellos aquí: cafeína, creatina, bicarbonato, beta-alanina, vitamina D, nitratos y aceite de pescado. También hablamos sobre los antioxidantes, que se usan con frecuencia, pero que simplemente podrían obtenerse a través de la dieta, y cuya ingestión de altas dosis se desaconseja.

Referencias

Artioli, G. G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J. y Lancha, A. H., Jr. (June, 2010). Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 42*(6), 1162-1173. doi:10.1249/MSS.0b013e3181c74e38

Bailey, S. J., Fulford, J., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., Benjamin, N., Jones, A. M. (July, 2010). Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (1985), 109*(1), 135-148. doi:10.1152/japplphysiol.00046.2010

Bailey, S. J., Winyard, P., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., Dimenna, F. J., Wilkerson, D. P., Tarr, J., Benjamin, N., Jones, A. M. (October, 2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O2 cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (1985), 107*(4), 1144-1155. doi:10.1152/japplphysiol.00722.2009

Balsom, P. D., Ekblom, B., Soderlund, K., Sjodin, B. y Hultman, E. (September, 1993). Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 3*(3), 143-149.

Bird, S. P. (December, 2003). Creatine supplementation and exercise performance: a brief review. *Journal of Sports Science and Medicine, 2*(4), 123-132.

Bond, H., Morton, L. y Braakhuis, A. J. (August, 2012). Dietary nitrate supplementation improves rowing performance in well-trained rowers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 22*(4), 251-256.

Boorsma, R. K., Whitfield, J. y Spriet, L. L. (December, 2014). Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 46*(12), 2326-2334. doi:10.1249/MSS.0000000000000364

Brilla, L. R. y Landerholm, T. E. (June, 1990). Effect of fish oil supplementation on serum lipids and aerobic fitness. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 30*(2), 173-180.

Burke, D. G., Candow, D. G., Chilibeck, P. D., MacNeil, L. G., Roy, B. D., Tarnopolsky, M. A. y Ziegenfuss, T. (August, 2008). Effect of creatine supplementation and resistance-exercise training on muscle insulin-like growth factor in young adults. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 18*(4), 389-398.

Calder, P. C. (June, 2006). n-3 polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. *The American Journal of Clinical Nutrition, 83*(6 Suppl), 1505S-1519S. doi:10.1093/ajcn/83.6.1505S

Carr, A. J., Hopkins, W. G. y Gore, C. J. (October, 2011). Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: a meta-analysis. *Sports Medicine, 41*(10), 801-814. doi:10.2165/11591440-000000000-00000

Carswell, A. T., Oliver, S. J., Wentz, L. M., Kashi, D. S., Roberts, R., Tang, J. C. Y., Izard, R. M., Jackson, S., Allan, D., Rhodes, L. E., Fraser, W. D., Greeves, J. P., Walsh, N. P. (December, 2018). Influence of Vitamin D Supplementation by Sunlight or Oral D3 on Exercise Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 50*(12), 2555-2564. doi:10.1249/MSS.0000000000001721

Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E. y Greenhaff, P. L. (July, 1996). Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology, 271*(1 Pt 1), E31-37.

Christensen, P. M., Shirai, Y., Ritz, C. y Nordsborg, N. B. (May, 2017). Caffeine and Bicarbonate for Speed. A Meta-Analysis of Legal Supplements Potential for Improving Intense Endurance Exercise Performance. *Frontiers in Physiology, 8*, 240. doi:10.3389/fphys.2017.00240

Chycki, J., Golas, A., Halz, M., Maszczyk, A., Toborek, M. y Zajac, A. (November, 2018). Chronic Ingestion of Sodium and Potassium Bicarbonate, with Potassium, Magnesium and Calcium Citrate Improves Anaerobic Performance in Elite Soccer Players. *Nutrients, 10*(11). doi:10.3390/nu10111610

Cook, C. J., Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Drawer, S. y Gaviglio, C. M. (February, 2011). Skill execution and sleep deprivation: effects of acute caffeine or creatine supplementation - a randomized placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 8*, 2. doi:10.1186/1550-2783-8-2

Costill, D. L., Dalsky, G. P. y Fink, W. J. (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 10*(3), 155-158.

Cox, G. R., Desbrow, B., Montgomery, P. G., Anderson, M. E., Bruce, C. R., Macrides, T. A., Martin, D. T., Moquin, A., Roberts, A., Hawley, J. A., Burke, L. M. (September, 2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology, 93*(3), 990-999.

Deldicque, L., Louis, M., Theisen, D., Nielens, H., Dehoux, M., Thissen, J. P., Rennie, M. J., Francaux, M. (May, 2005). Increased IGF mRNA in human skeletal muscle after creatine supplementation. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 37*(5), 731-736.

Derave, W., Ozdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., Wise, J. A., Achten, E. (November, 2007). beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology (1985), 103*(5), 1736-1743. doi:10.1152/japplphysiol.00397.2007

Duvnjak-Zaknich, D. M., Dawson, B. T., Wallman, K. E. y Henry, G. (August, 2011). Effect of caffeine on reactive agility time when fresh and fatigued. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 43*(8), 1523-1530. doi:10.1249/MSS.0b013e31821048ab

Fisher, S. M., McMurray, R. G., Berry, M., Mar, M. H. y Forsythe, W. A. (October, 1986). Influence of caffeine on exercise performance in habitual caffeine users. *International Journal of Sports Medicine, 7*(5), 276-280. doi:10.1055/s-2008-1025774

Fontani, G., Corradeschi, F., Felici, A., Alfatti, F., Migliorini, S. y Lodi, L. (November, 2005). Cognitive and physiological effects of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation

in healthy subjects. *European Journal of Clinical Investigation, 35*(11), 691-699. doi:10.1111/j.1365-2362.2005.01570.x

Foskett, A., Ali, A. y Gant, N. (August, 2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 19*(4), 410-423.

Gant, N., Stinear, C. M. y Byblow, W. D. (September, 2010). Carbohydrate in the mouth immediately facilitates motor output. *Brain Research, 1350*, 151-158. doi:S0006-8993(10)00812-7 [pii] 10.1016/j.brainres.2010.04.004

Girgis, C. M., Clifton-Bligh, R. J., Turner, N., Lau, S. L. y Gunton, J. E. (February, 2014). Effects of vitamin D in skeletal muscle: falls, strength, athletic performance and insulin sensitivity. *Clinical Endocrinology (Oxford), 80*(2), 169-181. doi:10.1111/cen.12368

Gomez-Cabrera, M. C., Domenech, E., Romagnoli, M., Arduini, A., Borras, C., Pallardo, F. V., Sastre, J., Vina, J. (January, 2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *The American Journal of Clinical Nutrition, 87*(1), 142-149. doi:10.1093/ajcn/87.1.142

Graham, T. E., Battram, D. S., Dela, F., El-Sohemy, A. y Thong, F. S. (December, 2008). Does caffeine alter muscle carbohydrate and fat metabolism during exercise? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 33*(6), 1311-1318. doi:h08-129 [pii] 10.1139/h08-129

Green, A. L., Sewell, D. A., Simpson, L., Hultman, E. y Greenhaff, P. L. (1995). Carbohydrate ingestion stimulates creatine uptake in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology, 489*, 27.

Green, A. L., Simpson, E. J., Littlewood, J. J., MacDonald, I. A. y Greenhaff, P. L. (October, 1996). Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiologica Scandinavica, 158*(2), 195-202.

Greenhaff, P., Casey, A., Short, A., Harris, R., Soderlund, K. y Hultman, E. (May, 1993). Influence of oral creatine supplementation of muscletorque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clinical Science, 84*(5), 565-571.

Greenhaff, P. L., Bodin, K., Harris, R. C., Jones, D. A., McIntyre, D. B., Soderlund, K. y Turner, D. L. (1993). The influence of oral creatine supplementation on muscle phosphocreatine resynthesis following intense contraction in man. *The Journal of Physiology, 467*, 75P.

Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J. y Pedisic, Z. (October, 2018). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review. *Sports Medicine* [Epub ahead of print]. doi:10.1007/s40279-018-0997-y

Gualano, B., Rawson, E. S., Candow, D. G. y Chilibeck, P. D. (August, 2016). Creatine supplementation in the aging population: effects on skeletal muscle, bone and brain. *Amino Acids, 48*(8), 1793-1805. doi:10.1007/s00726-016-2239-7

Guezennec, C. Y., Nadaud, J. F., Satabin, P., Léger, F. y Lafargue, P. (August, 1989). Influence of polyunsaturated fatty acid diet on the hemorrheological response to physical exercise in hypoxia. *International Journal of Sports Medicine, 10*(4), 286-291.

Harris, R. C., Marlin, D. J., Dunnett, M., Snow, D. H. y Hultman, E. (1990). Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse, greyhound dog and man. *Comparative Biochemistry and Physiology, 97*(2), 249-251.

Harris, R. C., Soderlund, K. y Hultman, E. (September, 1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Science, 83*(3), 367-374.

Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., Fallowfield, J. L., Hill, C. A., Sale, C. y Wise, J. A. (May, 2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids, 30*(3), 279-289. doi:10.1007/s00726-006-0299-9

Heaton, L. E., Davis, J. K., Rawson, E. S., Nuccio, R. P., Witard, O. C., Stein, K. W., Baar, K., Carter, J. M., Baker, L. B. (November, 2017). Selected In-Season Nutritional Strategies to Enhance Recovery for Team Sport Athletes: A Practical Overview. *Sports Medicine, 47*(11), 2201-2218. doi:10.1007/s40279-017-0759-2

Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., Kim, C. K., Wise, J. A. (February, 2007). Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids, 32*(2), 225-233. doi:10.1007/s00726-006-0364-4

Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C. y Sale, C. (July, 2012). Effects of beta-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids, 43*(1), 25-37. doi:10.1007/s00726-011-1200-z

Hodgson, A. B., Randell, R. K. y Jeukendrup, A. E. (2013). The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS One, 8*(4), e59561. doi:10.1371/journal.pone.0059561

Horswill, C. A. (June, 1995). Effects of bicarbonate, citrate, and phosphate loading on performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 5*, S111-S119.

Hultman, E., Greenhaff, P. L., Ren, J. M. y Soderlund, K. (April, 1991). Energy metabolism and fatigue during intense muscle contraction. *Biochemical Society Transactions, 19*(2), 347-353.

Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G. y Greenhaff, P. L. (July, 1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology (1985), 81*(1), 232-237.

Ivy, J. L., Costill, D. L., Fink, W. J. y Lower, R. W. (1979). Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 11*(1), 6-11.

Jeukendrup, A. (10 June 2018a). Exercise is the best antioxidant. from http://www.mysportscience.com/single-post/2018/06/10/Exercise-is-the-best-antioxidant

Jeukendrup, A. (18 July 2018b). Vitamin D and performance. Retrieved on date, from http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-and-performance

Jeukendrup, A. (14 July 2018c). Vitamin D supplementation guide. Retrieved on date, from http://www.mysportscience.com/single-post/2018/07/14/Vitamin-D-supplementation-guide

Jeukendrup, A. E. y Gleeson, M. (2018). *Sport Nutrition*. Champaign, US: Human Kinetics.

Jouris, K. B., McDaniel, J. L. y Weiss, E. P. (September, 2011). The Effect of Omega-3 Fatty Acid Supplementation on the Inflammatory Response to eccentric strength exercise. *Journal of Sports Science and Medicine, 10*(3), 432-438.

Kamada, T., Tokuda, S., Aozaki, S. y Otsuji, S. (January, 1993). Higher levels of erythrocyte membrane fluidity in sprinters and long-distance runners. *Journal of Applied Physiology (1985), 74*(1), 354-358. doi:10.1152/jappl.1993.74.1.354

Karlsson, J. y Saltin, B. (November, 1970). Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. *Journal of Applied Physiology, 29*(5), 596-602.

Konig, D., Wagner, K. H., Elmadfa, I. y Berg, A. (2001). Exercise and oxidative stress: significance of antioxidants with reference to inflammatory, muscular, and systemic stress. *Exercise Immunology Review, 7*, 108-133.

Kreider, R. B. (February, 2003). Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Molecular and Cellular Biochemistry, 244*(1-2), 89-94.

Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., Ziegenfuss, T. N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D. G., Kleiner, S. M., Almada, A. L., Lopez, H. L. (June, 2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 14*, 18. doi:10.1186/s12970-017-0173-z

Lancha Junior, A. H., Painelli Vde, S., Saunders, B. y Artioli, G. G. (November, 2015). Nutritional Strategies to Modulate Intracellular and Extracellular Buffering Capacity During High-Intensity Exercise. *Sports Medicine, 45*(Suppl 1), S71-81. doi:10.1007/s40279-015-0397-5

Lane, S. C., Hawley, J. A., Desbrow, B., Jones, A. M., Blackwell, J. R., Ross, M. L., Zemski, A. J., Burke, L. M. (September, 2014). Single and combined effects of beetroot juice and caffeine supplementation on cycling time trial performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39*(9), 1050-1057. doi:10.1139/apnm-2013-0336

Lansley, K. E., Winyard, P. G., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Wilkerson, D. P., Blackwell, J. R., Gilchrist M., Benjamin, N. y Jones, A. M. (June, 2011). Acute dietary nitrate supplementation improves cycling time trial performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 43*(6), 1125-1131. doi:10.1249/MSS.0b013e31821597b4

Lansley, K. E., Winyard, P. G., Fulford, J., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna F. J., Gilchrist, M., Benjamin, N. y Jones, A. M. (March, 2011). Dietary nitrate supplementation reduces the O2 cost of walking and running: a placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology (1985), 110*(3), 591-600. doi:10.1152/japplphysiol.01070.2010

Larsen, F. J., Schiffer, T. A., Borniquel, S., Sahlin, K., Ekblom, B., Lundberg, J. O. y Weitzberg, E. (February, 2011). Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metabolism, 13*(2), 149-159. doi:10.1016/j.cmet.2011.01.004

Larsen, F. J., Weitzberg, E., Lundberg, J. O. y Ekblom, B. (September, 2007). Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta physiologica (Oxford, England), 191*(1), 59-66. doi:10.1111/j.1748-1716.2007.01713.x

Louis, M., Poortmans, J. R., Francaux, M., Berre, J., Boisseau, N., Brassine, E., Cuthbertson, D. J., Smith, K., Babraj, J. A., Waddell, T. y Rennie, M. J. (November, 2003). No effect of creatine supplementation on human myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis after resistance exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 285*(5), E1089-1094. doi:10.1152/ajpendo.00195.2003

Louis, M., Poortmans, J. R., Francaux, M., Hultman, E., Berre, J., Boisseau, N., Young, V. R., Smith, K., Meier-Augenstein, W., Babraj, J. A., Waddell, T. y Rennie, M. J. (April, 2003). Creatine supplementation has no effect on human muscle protein turnover at rest in the postabsorptive or fed states. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 284*(4), E764-770. doi:10.1152/ajpendo.00338.2002

McNaughton, L. y Cedaro, R. (1992). Sodium citrate ingestion and its effects on maximal anaerobic exercise of different durations. *European Journal of Applied Physiology, 64*(1), 36-41.

McNaughton, L., Dalton, B. y Palmer, G. (June, 1999). Sodium bicarbonate can be used as an ergogenic aid in high-intensity, competitive cycle ergometry of 1 h duration. *European Journal of Applied Physiology, 80*(1), 64-69.

McNaughton, L. R. (1990). Sodium citrate and anaerobic performance: implications of dosage. *European Journal of Applied Physiology, 61*(5-6), 392-397.

Meeusen, R., Roelands, B. y Spriet, L. L. (2013). Caffeine, exercise and the brain. *Nestlé Nutrition Institute Workshop Series, 76*, 1-12. doi:10.1159/000350223

Mujika, I., Padilla, S., Ibanez, J., Izquierdo, M. y Gorostiaga, E. (February, 2001). Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *32*(2), 518-525.

Oberlin-Brown, K. T., Siegel, R., Kilding, A. E. y Laursen, P. B. (March, 2016). Oral Presence of Carbohydrate and Caffeine in Chewing Gum: Independent and Combined Effects on Endurance Cycling Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 11*(2), 164-171. doi:10.1123/ijspp.2015-0133

Olsen, S., Aagaard, P., Kadi, F., Tufekovic, G., Verney, J., Olesen, J. L., Suetta, C. y Kjaer, M. (June, 2006). Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training. *The Journal of Physiology, 573*(Pt 2), 525-534. doi:10.1113/jphysiol.2006.107359

Oostenbrug, G. S., Mensink, R. P., Hardeman, M. R., De Vries, T., Brouns, F. y Hornstra, G. (September, 1997). Exercise performance, red blood cell deformability, and lipid peroxidation: effects of fish oil and vitamin E. *Journal of Applied Physiology (1985), 83*(3), 746-752. doi:10.1152/jappl.1997.83.3.746

Owens, D. J., Allison, R. y Close, G. L. (March, 2018). Vitamin D and the Athlete: Current Perspectives and New Challenges. *Sports Medicine, 48*(Suppl 1), 3-16. doi:10.1007/s40279-017-0841-9

Owens, D. J., Fraser, W. D. y Close, G. L. (2015). Vitamin D and the athlete: emerging insights. *European Journal of Sport Science, 15*(1), 73-84. doi:10.1080/17461391.2014.944223

Parise, G., Mihic, S., MacLennan, D., Yarasheski, K. E. y Tarnopolsky, M. A. (September, 2001). Effects of acute creatine monohydrate supplementation on leucine kinetics and mixed-muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology (1985), 91*(3), 1041-1047. doi:10.1152/jappl.2001.91.3.1041

Parkhouse, W. S., McKenzie, D. C., Hochachka, P. W. y Ovalle, W. K. (January, 1985). Buffering capacity of deproteinized human vastus lateralis muscle. *Journal of Applied Physiology (1985), 58*(1), 14-17. doi:10.1152/jappl.1985.58.1.14

Powers, S., Nelson, W. B. y Larson-Meyer, E. (2011). Antioxidant and Vitamin D supplements for athletes: sense or nonsense? *Journal of Sports Sciences, 29*(Suppl 1), S47-55. doi:10.1080/02640414.2011.602098

Powers, S. K., Duarte, J., Kavazis, A. N. y Talbert, E. E. (January, 2010). Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Experimental Physiology, 95*(1), 1-9. doi:10.1113/expphysiol.2009.050526

Powers, S. K. y Jackson, M. J. (October, 2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Reviews, 88*(4), 1243-1276. doi:10.1152/physrev.00031.2007

Powers, S. K., Ji, L. L., Kavazis, A. N. y Jackson, M. J. (April, 2011). Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Comprehensive Physiology, 1*(2), 941-969. doi:10.1002/cphy.c100054

Quesnele, J. J., Laframboise, M. A., Wong, J. J., Kim, P. y Wells, G. D. (February, 2014). The effects of beta-alanine supplementation on performance: a systematic review of the literature. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 24*(1), 14-27. doi:10.1123/ijsnem.2013-0007

Robertson, D., Wade, D., Workman, R., Woosley, R. L. y Oates, J. A. (April, 1981). Tolerance to the humoral and hemodynamic effects of caffeine in man. J*ournal of Clinical Investigation, 67*(4), 1111-1117.

Safdar, A., Yardley, N. J., Snow, R., Melov, S. y Tarnopolsky, M. A. (January, 2008). Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiological Genomics, 32*(2), 219-228. doi:10.1152/physiolgenomics.00157.2007

Sale, C., Harris, R. C., Florance, J., Kumps, A., Sanvura, R. y Poortmans, J. R. (May, 2009). Urinary creatine and methylamine excretion following 4 x 5 g x day(-1) or 20 x 1 g x day(-1) of creatine monohydrate for 5 days. *Journal of Sports Sciences, 27*(7), 759-766. doi:10.1080/02640410902838237

Salinero, J. J., Lara, B. y Del Coso, J. (December, 2018). Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: a systematic review and meta-analysis. *Research in Sports Medicine* [Epub ahead of print], 1-19. doi:10.1080/15438627.2018.1552146

Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., Swinton, P. A., Dolan, E., Roschel, H., Sale, C. y Gualano, B. (2017). beta-alanine supplementation to improve exercise capacity and

performance: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 51*(8), 658-669. doi:10.1136/bjsports-2016-096396

Shen, J. G., Brooks, M. B., Cincotta, J. y Manjourides, J. D. (February, 2018). Establishing a relationship between the effect of caffeine and duration of endurance athletic time trial events: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. doi:10.1016/j.jsams.2018.07.022

Smith, G. I., Atherton, P., Reeds, D. N., Mohammed, B. S., Rankin, D., Rennie, M. J. y Mittendorfer, B. (February, 2011a). Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition, 93*(2), 402-412. doi:10.3945/ajcn.110.005611

Smith, G. I., Atherton, P., Reeds, D. N., Mohammed, B. S., Rankin, D., Rennie, M. J. y Mittendorfer, B. (September, 2011b). Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. *Clinical science (London), 121*(6), 267-278. doi:10.1042/CS20100597

Smith, G. I., Julliand, S., Reeds, D. N., Sinacore, D. R., Klein, S. y Mittendorfer, B. (July, 2015). Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. *The American Journal of Clinical Nutrition, 102*(1), 115-122. doi:10.3945/ajcn.114.105833

Southward, K., Rutherfurd-Markwick, K. J. y Ali, A. (August, 2018). The Effect of Acute Caffeine Ingestion on Endurance Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine, 48*(8), 1913-1928. doi:10.1007/s40279-018-0939-8

Tallon, M. J., Harris, R. C., Boobis, L. H., Fallowfield, J. L. y Wise, J. A. (November, 2005). The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 19*(4), 725-729. doi:10.1519/041018.1

Tarnopolsky, M. y Cupido, C. (November, 2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *Journal of Applied Physiology (1985), 89*(5), 1719-1724. doi:10.1152/jappl.2000.89.5.1719

Tartibian, B., Maleki, B. H. y Abbasi, A. (March, 2009). The effects of ingestion of omega-3 fatty acids on perceived pain and external symptoms of delayed onset muscle soreness in untrained men. *Clinical Journal of Sport Medicine, 19*(2), 115-119. doi:10.1097/JSM.0b013e31819b51b3

Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Wilborn, C. D., Sale, C., Kreider, R. B., Jäger, R., Earnest, C. P., Bannock, L., Campbell, B., Kalman, D., Ziegenfuss, T. N. y Antonio, J. (July, 2015). International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 12*, 30. doi:10.1186/s12970-015-0090-y

Van Soeren, M. H., Sathasivam, P., Spriet, L. L. y Graham, T. E. (August, 1993). Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and nonusers. *Journal of Applied Physiology, 75*(2), 805-812.

Vandenberghe, K., Goris, M., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vangerven, L. y Hespel, P. (December, 1997). Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of Applied Physiology, 83*(6), 2055-2063.

Wickham, K. A. y Spriet, L. L. (March, 2018). Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports Medicine, 48*(Suppl 1), 79-91. doi:10.1007/s40279-017-0848-2

Wylie, L. J., Bailey, S. J., Kelly, J., Blackwell, J. R., Vanhatalo, A. y Jones, A. M. (February, 2016). Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology, 116*(2), 415-425. doi:10.1007/s00421-015-3296-4