

3. Ayudas ergogénicas

3.1 Ayudas ergogénicas de efecto agudo e instantáneo

En el módulo anterior del curso estudiamos los alimentos deportivos, mientras que en el presente analizaremos un grupo de sustancias que difícilmente puedan encontrarse en los alimentos en las cantidades adecuadas para producir un efecto de mejora del rendimiento (el efecto ergogénico). Comenzamos analizando a las sustancias que con una sola dosis pueden producir ya un efecto ergogénico.

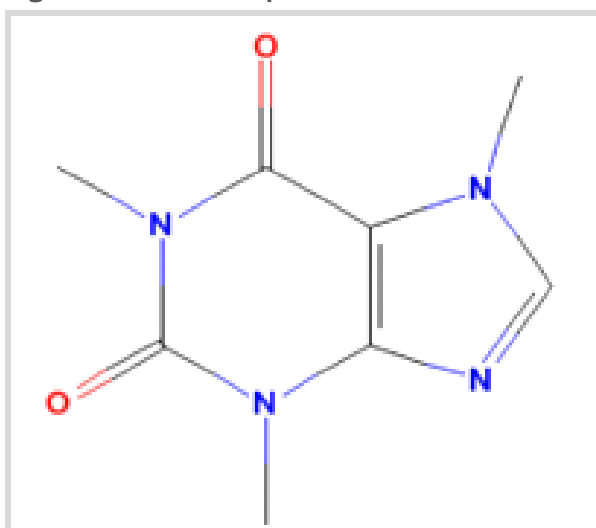
3.1.1 Cafeína

La **cafeína** (nombre químico 1, 3, 7 – trimetilxantina) es única y se encuentra en una variedad de bebidas y comidas (p. ej., te, café, cola, chocolate); es quizás la más estudiada y probada científicamente de entre todas las ayudas ergogénicas.

Es un estimulante natural (figura 1), encontrado en suplementos nutricionales y alimentos tales como: guaraná, café, té, gaseosas o refrescos, bebidas energéticas y el chocolate (tabla 1). Desde 1983 hasta el 2000, la cafeína fue incluida en la lista de sustancias prohibidas del COI, con límites sobre los niveles urinarios de cafeína, por encima de los cuales era considerada doping. No obstante en 2004, la cafeína fue quitada de la lista de sustancias prohibidas de la Agencia Mundial Antidopaje o (World Anti-Doping Agency, WADA) (Stear et al., 2010).

Numerosos estudios sugieren que la cafeína mejora los elementos físicos y técnicos de la actividad que son inherentes a la mayoría de las competiciones de equipo. Por ejemplo, la cafeína puede mejorar los sprints repetidos y la actividad de salto (Gant et al., 2010), la agilidad de reacción (Duvnjak-Zaknich et al., 2011) y la precisión al paso (Foskett et al., 2009) durante protocolos de ejercicios de tipo intermitente.

Figura 1: Estructura química de la cafeína



Fuente: National Institutes of Health, 2004. Recuperado de <https://goo.gl/y1BbBF>

Es digno de mención que todavía no se conoce el mecanismo exacto a través del cual la cafeína incrementa el rendimiento (Stear et al., 2010). Sin embargo, los investigadores están de acuerdo en que la habilidad de la cafeína de modificar el sistema nervioso central (SNC) es el mecanismo predominante (Meeusen 2014).

De hecho, la cafeína está preparada para ser transportada a través de la barrera hemato-encefálica y puede actuar como antagonista de la adenosina, oponiéndose a la acción de ésta. Como tal, la cafeína puede aumentar las concentraciones de importantes neurotransmisores como la dopamina (Fredholm 1995), lo que se manifiesta como una mayor motivación (Maridakis et al., 2009) y comando motor (Davis et al., 2003). Además de su efecto sobre el SNC, algunos datos recientes sugieren que la cafeína también puede ejercer sus influencias ergogénicas durante el ejercicio intermitente de alta intensidad a través de un mecanismo adicional relacionado con el mantenimiento de la excitabilidad del músculo.

Tal como con cualquier sustancia, la respuesta de los individuos es diferente, en un intervalo que va desde respuestas negativas a positivas, mientras que algunos tejidos se vuelven tolerantes al uso repetido de la mencionada sustancia y otros no. Los efectos beneficiosos potenciales incluyen la movilización de las grasas desde el tejido adiposo a las células musculares, la estimulación de la liberación y actividad de la adrenalina, efectos sobre el músculo cardíaco, cambios directos sobre la contractilidad cardíaca y alteraciones en el sistema nervioso central con cambios en la percepción del esfuerzo o la fatiga.

Composición y dosificación

Los estudios proponen la ingestión de 3 a 9 mg.kg⁻¹ de peso corporal de 30 a 90 min antes del ejercicio (Kreider et al., 2000). No obstante, es digno de mención que los hallazgos de trabajos recientes (Stear et al., 2010) muestran que los efectos ergogénicos de la cafeína pueden ocurrir a niveles de ingestión muy modestos (1-3 mg. kg⁻¹ o 70-200 mg de cafeína). Además, se planteó que no existiría una relación dosis-respuesta entre la ingesta y los beneficios sobre el rendimiento de resistencia, y que existiría un plateau con dosis iguales a 3 mg. kg⁻¹ o 200 mg de cafeína.

Tabla 1: Contenido de cafeína de alimentos y bebidas, y preparados de venta libre, comunes

Alimento o bebida	Porción	Cafeína (mg)
Café instantáneo	Taza de 250 ml	60 (12-169)
Café de cafetera a presión	Taza de 250 ml	80 (40-110)
Café negro o expreso	1 (80-100 ml)	107 (25-214)
Café de cafetera a presión (<i>Starbucks Breakfast Blend Venti size</i>)	600 ml	415 (300-564)
Café frío – marcas comerciales	Botella de 500 ml	30-200
<i>Frappuccino</i>	Tasa de 375 ml	90
Té	Tasa de 250 ml	27 (9-51)
Chocolate negro	60 g	10-50
Coca cola	Lata de 375 ml	49
Bebida energética Red Bull	Lata de 250 ml	80
<i>Smart drink – Brain fuel</i>	Lata de 250 ml	80
Bebida energética <i>Spike Shotgun</i>	Lata de 500 ml	350
Bebida energética <i>Fixx</i>	Lata de 600 ml	500
Disparo energético Ammo	30 g	170
Gel deportivo con cafeína PowerBar	Sachet de 40 g	25
Gel deportivo con doble concentración de cafeína PowerBar	Sachet de 40 g	50

Barra de rendimiento PowerBar ActiCaf	Barra de 65 g	50
Goma con cafeína Jolt	1 unidad	33
No doz	1 tableta (Australia)	100
No doz	1 tableta (EEUU)	200

Fuente: Stear et al. 2010, p. 298.

Aplicaciones

Al parecer, la cafeína ejerce efectos positivos sobre la capacidad de ejercicio, prolongando la duración para la cual el ejercicio de una dada intensidad puede ser sostenido. Esto sucede a través de un diverso intervalo de duraciones, incluido el ejercicio submáximo (> 90 min), ejercicio sostenido de alta intensidad (20 a 60 min) y el ejercicio supramáximo de corta duración (1 a 5 min) (Stear et al., 2010).

A diferencia de los días de competición, cuando son consumidos productos deportivos cafeinados especializados, los jugadores deben alcanzar efectos ergogénicos en los días de entrenamiento consumiendo cafeína en forma de té o de café en el desayuno (Morton 2014). De hecho, esta estrategia parece ser apropiada, ya que la ingesta de café antes del ejercicio, provoca beneficios al rendimiento similares a aquellos con ingesta de cafeína en forma anhidra (Hodgson et al., 2013). Finalmente, se recomienda la ingesta de cafeína después del entrenamiento, dado que puede ayudar a la recuperación y al rendimiento durante una sesión de entrenamiento posterior realizada el mismo día. De hecho, la resíntesis del glucógeno muscular posterior al ejercicio fue mejorada cuando se toma la cafeína (8 mg/kg MC administrada en dosis de 2 x 4 mg/kg MC en intervalos de 2 horas) junto con alimentos altos en carbohidratos después del ejercicio (Pedersen et al., 2008). Es notable, sin embargo, que no todos los investigadores han observado que tomar cafeína después del ejercicio mejore la resíntesis del glucógeno muscular (Beelen et al., 2012).

A pesar de la evidencia que apoya tomar cafeína para el rendimiento deportivo, es altamente recomendable que los jugadores inicialmente experimenten con cafeína en las sesiones de entrenamiento. La cafeína puede tener una serie de efectos secundarios adversos que pueden limitar su uso en algunos deportes o según las personas; estos efectos pueden ser insomnio, dolores de cabeza, irritación gastrointestinal y sangrados, y una estimulación de la diuresis (Maughan et al., 2011). De hecho, no todos los individuos manifiestan las mejoras después de tomar cafeína, y grandes dosis (> 6 mg/kg MC) pueden provocar síntomas negativos como aumento de la frecuencia cardíaca,

irritabilidad, temblores, confusión, menor concentración y dificultad en respirar (Graham & Spriet 1995).

Timing

En términos de variación del *timing* de la ingesta de las dosis de cafeína, parece que al menos en los deportes de resistencia, esta puede ser consumida antes del evento o en dosis múltiples distribuidas a través de la sesión de ejercicio o justo antes de la fatiga. En el caso de los deportes de equipo, teniendo en cuenta que los niveles de cafeína en el plasma aparecen aproximadamente 45-60 min posterior de la ingesta (Graham & Spriet 1995), se recomienda consumir bebidas con cafeína, cápsulas o geles (dependiendo de las preferencias de los jugadores) dentro del periodo de calentamiento antes del partido. Los efectos pueden tener una larga duración, ya que se ha demostrado (Stear et al., 2010) que las personas que ingirieron cafeína para mejorar el rendimiento del ejercicio realizado a la mañana, obtuvieron beneficios durante una sesión realizada más tarde durante ese mismo día.

Protocolo del Instituto Australiano del Deporte

- El protocolo tradicional de investigaciones sobre el consumo de cafeína en los deportes y en las ciencias deportivas generalmente consistía en lo siguiente:
 - Una dosis de cafeína equivalente a 6 mg/kg de masa corporal, consumida 60 min antes del comienzo del ejercicio.
 - Típicamente, un período de abandono de la cafeína antes de la competencia o de la prueba de evaluación para intensificar el efecto de la cafeína. La limpieza de cafeína puede ser realizada si se evita consumir cafeína durante 24 a 48 horas.
- Sin embargo, durante la última década, se ha establecido que este protocolo tradicional no es la mejor práctica y debe ser actualizado.
- En la actualidad, un gran número de estudios han demostrado que el consumo de cafeína puede mejorar el rendimiento en dosis significativamente menores a las de la ingesta, es decir 1-3 mg/kg. Si hay una relación dosis-respuesta entre la ingesta de cafeína y el rendimiento físico (es decir a mayor dosis, mejor resultado de rendimiento), la meseta se produciría en dosis de ~ 3 mg/kg. Esto brinda a los atletas la oportunidad de consumir cafeína para mejorar el rendimiento en dosis que tienen una menor probabilidad de provocar efectos colaterales, absolutamente dentro de los patrones poblacionales normales de consumo de cafeína y con dosis de cafeína aportadas por un rango de comidas y alimentos deportivos perfectamente aceptados.

- Estudios y observaciones anecdóticas han demostrado que los beneficios de la cafeína se producen poco después de la ingesta y no dependen de que se alcance una concentración de cafeína máxima en la sangre.
- Estas fuentes también demostraron que existe una diversidad de protocolos de ingesta de cafeína que pueden mejorar el rendimiento. Estos incluyen el consumo de cafeína antes del ejercicio, a lo largo del ejercicio, o más tardíamente durante el ejercicio cuando se comienza a sentir el cansancio. Los diferentes protocolos pueden alcanzar resultados de rendimiento óptimos incluso en el mismo deporte o individuo. Los protocolos convenientes u óptimos pueden ser identificados por las características específicas del evento, las consideraciones prácticas de consumir un producto con cafeína, y las características/preferencias individuales del atleta. El atleta que está pensando consumir cafeína para mejorar el rendimiento deportivo debe experimentar entrenamientos o eventos menos importantes para determinar el /los protocolo(s) que contemple/n mejor sus necesidades individuales.
- Existe cierta duda sobre el abandono del consumo de cafeína antes de utilizarla en una competencia para "incrementar" el efecto subsiguiente en el rendimiento. Las observaciones de un mayor aumento en el rendimiento luego de un período de abstinencia de cafeína pueden ser un efecto falso. El abandono del consumo de cafeína puede afectar el bienestar general y el rendimiento; y el aumento aparente en los beneficios cuando se reintroduce la cafeína puede ser explicado parcialmente por la reversión de estos efectos negativos. Estudios correctamente diseñados han demostrado que no hay ninguna diferencia en la respuesta a la cafeína en el rendimiento entre quienes consumen y quienes no consumen cafeína, y que el abandono de la cafeína por parte de los atletas no aumenta la mejora neta en el rendimiento que se alcanza con la suplementación con cafeína.
- En síntesis, los atletas no necesitan consumir grandes dosis de cafeína, o consumir más cafeína que el resto de la población para alcanzar sus metas deportivas. Los atletas que quieren consumir cafeína para aumentar el rendimiento deportivo deben desarrollar protocolos de suplementación que utilicen la menor dosis eficaz de cafeína.
- La mayoría de los estudios sobre cafeína y rendimiento han sido realizados en laboratorios. Los estudios sobre los efectos sobre el rendimiento en atletas de élite en condiciones de campo o durante eventos deportivos de la vida real son escasos y deben

ser realizados antes de plantear recomendaciones específicas para los protocolos de suplementación con cafeína. No obstante, hay evidencia legítima, que sostiene que la cafeína puede mejorar el rendimiento en una variedad de deportes:

- Deportes de resistencia (> 60 min).
 - Deportes de alta intensidad y corta duración (1-60 min).
 - Deportes intermitentes y de equipo – tasas de trabajo.
 - Deportes intermitentes y de equipo - habilidades y concentración.
- No está claro cuál es el efecto de la cafeína en los siguientes aspectos deportivos, principalmente debido a que no se dispone de investigaciones al respecto:
 - Deportes de habilidad que involucran ejercicios de baja intensidad.
 - Esfuerzos aislados que involucran fuerza o potencia (los efectos parecen ser pequeños y limitados a ciertos grupos de músculos).
 - Efecto crónico de consumir cafeína para mejorar el rendimiento del entrenamiento.

3.1.2 Bicarbonato

El **bicarbonato o carbonato ácido de sodio (NaHCO_3)** es un buffer o amortiguador de la acidez que está en la sangre. Por lo tanto, ante cualquier disminución del pH sanguíneo (describimos este concepto en el módulo 1 del curso) será contrarrestada por la reacción en la cual el bicarbonato forma HCO_3^- y luego CO_2 que se puede eliminar a través de la respiración.

En un trabajo experimental realizado hace algunos años, Van Montfoort et al. (2009) administraron 0.3 g por kg de peso corporal de bicarbonato (al igual que otros potenciales amortiguadores, como lactato, cloruro y citrato, con el objetivo de comparar su efecto) a 19 corredores de media distancia (5 a 10 km) de nivel provincial y nacional, 90 min antes de una prueba hasta el agotamiento, con una duración que iba de 1 a 2 min.

Los tiempos hasta el agotamiento fueron los siguientes para las diferentes condiciones experimentales: placebo 77.4 s, citrato 78.2 s, lactato 80.2 s, y bicarbonato 82.3 s (coeficiente de variación total entre sujetos, 28 %). La variación intrasujeto en el tiempo de un tratamiento a otro (error estándar de la medición expresado como coeficiente de variación) fue de 8.4 %. La tabla 2 muestra las mejoras en el rendimiento equivalente en una prueba contrarreloj entre tratamientos y las posibilidades de mejora real para atletas de elite que utilicen un tratamiento en relación a los demás. Doce de los dieciséis sujetos

mejoraron su tiempo hasta el agotamiento luego de la ingestión de bicarbonato (el amortiguador más efectivo) en comparación al placebo.

Todos los amortiguadores produjeron cierta mejora relativa al placebo con cloruro, y el único cambio insustancial entre cualquier tratamiento se produjo entre los tratamientos con citrato y cloruro.

Tabla 2: Mejoras observadas en el rendimiento en una prueba contrarreloj entre los tratamientos con amortiguadores y probabilidad que las mejoras verdaderas sean sustanciales para un atleta de elite (mayor que el menor cambio significativo de 0.5 %)

Tratamientos comparados	Mejora promedio (%) ^A	Cambios (porcentual y cualitativo) de la mejora sustancial ^B
Bicarbonato-cloruro	2.7	96; muy probable
Bicarbonato-citrato	2.2	92; probable
Bicarbonato-lactato	1.0	66; posible
Lactato-cloruro	1.7	83; probable
Lactato-citrato	1.2	72; posible
Citrato-cloruro	0.5	50; posible

Fuente: Van Montfoort et al., 2009, p. 1241

Composición y dosificación

Ha sido demostrado que la carga de bicarbonato (NaHCO_3) (p. ej., 0.3 g por kg ingerido 60-90 min antes del ejercicio o 5 g tomados dos veces por día durante 5 días) constituye un amortiguador de la acidez efectivo durante el ejercicio de alta intensidad que dura de 1 a 3 min (Kreider et al., 2004). Es importante mencionar que algunas personas tienen dificultad para tolerar el bicarbonato, ya que este puede causar molestias gastrointestinales. De este modo, al igual que con cualquier otra estrategia, debería ser probado completamente durante el entrenamiento antes de utilizarse en la competición.

Aplicaciones

El bicarbonato puede mejorar el rendimiento en todo esfuerzo de máxima intensidad y relativamente corta duración (1 a 3 min). Es digno de mención que muchos deportes de resistencia, a pesar de tener una duración prolongada, implican esfuerzos de altísima intensidad y de la duración arriba mencionada, que de hecho son determinantes del resultado final.

Timing

Debe usarse 60 a 90 min antes del ejercicio, o varios días antes del ejercicio si se utiliza un protocolo que implique la ingesta de varias dosis a lo largo del día.

Protocolo del Instituto Australiano del Deporte

- La fuente normalmente más accesible y económica de bicarbonato de sodio es el producto de uso doméstico, bicarbonato de sodio. Pero la mayoría de los atletas considera que el bicarbonato disuelto en agua es desagradablemente salado.
- Es posible obtener formas alternativas y más tolerables de bicarbonato de sodio en los alcalinizadores de orina que se utilizan para tratar los síntomas de infecciones del tracto urinario. Éstos se encuentran en dos presentaciones.
 - Cápsulas (Sodibic: 0,84 g por cápsula).
 - Polvo efervescente saborizado (Ural: 1.76 g por sachet, más cantidades adicionales de citrato de sodio).
- Existe considerable evidencia del consumo por parte de atletas que compiten en competencias de alta intensidad de 1-7 min de duración; por ejemplo, natación, remo y eventos de carreras de medio fondo. Un reciente meta-análisis demostró que la suplementación con bicarbonato produce un moderado aumento en el rendimiento (1,7%) en eventos de alta intensidad de aproximadamente 1 min de duración en atletas de sexo masculino con un efecto más pequeño cuando existe un aumento en la duración del evento hacia 10 min+, en atletas de sexo femenino, o en atletas desentrenados
- Un efecto mayor en los eventos con sprints repetidos adicionales o con un aumento en la dosis por encima de 300 mg/kg/d.
- Algunos estudios más recientes han demostrado que la suplementación con bicarbonato puede tener beneficios en:
 - Eventos de alta intensidad de hasta una hora de duración, que se realizan en tasas de trabajo justo por debajo del umbral anaeróbico/lactato. Una capacidad buffer adicional puede apoyar la capacidad del atleta de aumentar su ritmo/rendimiento durante períodos estratégicos (p. ej. subidas, sprints hacia la línea final).
 - Deportes que involucran sprints repetidos o actividades intermitentes de alta intensidad como los deportes de equipo o de raqueta, y deportes de combate en que una capacidad buffer adicional puede reducir la disminución en el rendimiento asociada con los sprints repetidos.
 - Además existe evidencia preliminar de que se obtienen adaptaciones superiores a un bloque de entrenamiento cuando se realiza una suplementación aguda con bicarbonato

antes de realizar una serie de sesiones de entrenamiento intervalado (Edge et al. 2006). El apoyo crónico de tales entrenamientos puede permitir al atleta entrenar más duramente y producir menos daño al músculo. Esto debe ser validado dentro de una población de deportistas.

3.1.3 Nitrato o jugo de remolacha

El óxido nítrico (NO) es una molécula de señalización importante que puede modular la función del músculo esquelético a través de su rol en la regulación del flujo sanguíneo, contractilidad muscular, homeostasis de la glucosa y el calcio, y la biogénesis y respiración mitocondrial (Jones et al., 2011). Hasta hace poco tiempo se pensaba que el NO se generaba solamente a través de la oxidación del aminoácido L-arginina, no obstante, actualmente se sabe que también puede formarse a partir de la reducción del nitrato a nitrito y subsiguientemente a NO.

Los **nitratos** son especialmente frecuentes en los vegetales de hojas verdes como la remolacha, la lechuga y las espinacas, aunque el contenido exacto puede variar considerablemente dependiendo de las condiciones del suelo y de la época del año. Como un medio para proporcionar una cantidad constante de nitrato, la mayoría de los investigadores, por tanto, han utilizado dosis estándar de jugo de remolacha (0,5 L es equivalente a aproximadamente 5 mmol de nitrato) para elevar el nitrato y el nitrito.

Composición y dosificación

Ha sido demostrado que 3 días de suplementación con nitrato de sodio (0,1 mmol/kg/día) reducen la presión sanguínea en reposo y el costo de oxígeno del ejercicio submáximo. También se ha demostrado que suplementar la dieta con jugo de remolacha reduce la presión sanguínea en reposo, el costo de oxígeno del ejercicio y mejora el rendimiento. Es de destacar, sin embargo, que la reducción en el gasto de oxígeno durante el ejercicio asociado con la ingestión de nitrato fue mayor con la dosis más alta (Wylie et al., 2013). Estos datos sugieren que la incapacidad para detectar los efectos fisiológicos de nitrato en escenarios agudos (sobre todo con los atletas de élite) se pueden superar mediante el uso de estrategias de dosificación más altas antes del ejercicio y / o protocolos de duración de dosificación más largas (> 3 días). Larsen et al. (2011) sugirieron que la eficiencia mitocondrial podría mejorar en el músculo esquelético después de 3 días de ingesta de nitrato sódico (0,1 mmol/kg MC).

Más recientemente, Haider y Folland (2014) observaron que siete días de nitrato en forma de concentrado de jugo de remolacha (9,7mmol/d)

también mejoraba las propiedades contráctiles del músculo esquelético.

Los efectos positivos de la suplementación sobre el costo de oxígeno en el ejercicio submáximo pueden manifestarse en forma aguda (2.5 h después de la ingestión de una porción de 6 mmol de nitrato) y el efecto puede mantenerse por al menos 15 días si se continúa utilizando la misma dosis diaria.

Aplicaciones

Las mejoras sobre el rendimiento han sido documentadas principalmente en pruebas contrarreloj o time trial en ciclismo. Sus aplicaciones se hacen extensivas a todos los deportes de endurance en donde el nitrato y el jugo de remolacha podrían mejorar el rendimiento.

Contrariamente, aún no existen pruebas convincentes que demuestren los efectos ergogénicos de la ingesta de nitratos durante los protocolos de ejercicio intermitente en relación con el fútbol. Sin embargo, al utilizar una dosis más agresiva de jugo de remolacha concentrado (aproximadamente 30 mmol en un período de 36 h), Wylie y colaboradores (2013) observaron mejores significativas en la distancia recorrida en el Test de Nivel 2 de Recuperación Intermitente Yo-Yo en comparación con el suplemento de placebo. Curiosamente, estos investigadores observaron que la glucosa en plasma se reducía durante el ejercicio con jugo de remolacha, lo que sugiere que la glucosa muscular aumentaba y que un mejor rendimiento puede ser debido a un ahorro del glucógeno muscular (Wylie et al., 2013).

Adicionalmente, un rendimiento mejor puede ser debido a que mantiene la excitabilidad de la membrana muscular dado que el K⁺ plasmático fue menor durante el ejercicio después de complementar con jugo de remolacha. Desde una perspectiva práctica, puede que los jugadores de fútbol prefieran un intenso protocolo de ingesta de nitrato durante 36 h que una carga convencional de entre 3-6 días. Sin embargo, la aplicación práctica de nitrato (aunque sea en forma concentrada) puede estar limitada debido al gusto y a los problemas de palatabilidad de los productos con nitrato que están disponibles actualmente.

Se recomienda que los jugadores experimenten con suplementos de nitrato (tal vez incluso más que con los suplementos anteriormente nombrados) antes de estar inmersos en la competición a un alto nivel. Además, y para promocionar los efectos beneficiosos de complementar con nitrato, se aconseja a los atletas evitar enjuague bucal antibacteriano y goma de mascar, ya que estos productos disminuyen la conversión de nitrato en nitrito (Jones 2014).

Timing

Su ingestión se realiza unas 2.5 horas antes del esfuerzo o distribuida a lo largo de varios días previos al ejercicio o la competición.

Tabla 3: Contenido de nitrato en diferentes alimentos

Nitrato	Contenido (por kg de verdura fresca)	Verduras comunes
Muy alto	2500 mg/40 mmol	Remolacha y jugo de remolacha, apio, lechuga, rúcula, espinaca.
Alto	1000-2500 mg/18-40 mmol	Col china, apio nabo, endivia, puerro, perejil, col rizada.
Moderado	500-1000 mg/9-18 mmol	Coles, eneldo, nabos, jugo de zanahoria.
Bajo	200-500 mg/3-9 mmol	Brócoli, zanahoria, coliflor, pepino, calabaza, jugo de verduras V8
Muy bajo	<200 mg/< 3 mmol	Espárragos, alcachofa, habas, judías verdes, guisantes, pimiento, tomate, sandía, batatas, papa, ajo, cebolla, berenjena, hongos.

Fuente: Instituto Australiano del Deporte (Australian Institute of Sport, AIS). (s.f.) Recuperado de <https://goo.gl/oGSWq7>

- La tabla 3 sintetiza el contenido de nitrato de una variedad de verduras de varias referencias diferentes, siendo las mejores fuentes las plantas de hoja verde y las verduras cultivadas en condiciones de poca luz, como las raíces de las plantas. El contenido de nitrato de una fuente vegetal puede variar considerablemente de una planta a otra. El contenido de nitrato del agua proviene del lavado de la materia orgánica del suelo, de la actividad bacteriana y del nitrógeno que contienen los fertilizantes.
- Productos actualmente disponibles en Australia:
 - Beet it: raciones de 70 ml (James White REINO UNIDO): 300 mg de nitrato.
 - Go Beet: jugo de 200 ml (Heinz, Australia): 260 mg de nitrato.
- Dosis característica utilizada en los estudios recientes de rendimiento deportivo /ejercicio: ~ 5-6 mmol o ~300 mg de nitrato proporcionados por una sola dosis de jugo de remolacha, consumida ~ 2-2.5 horas pre-ejercicio.

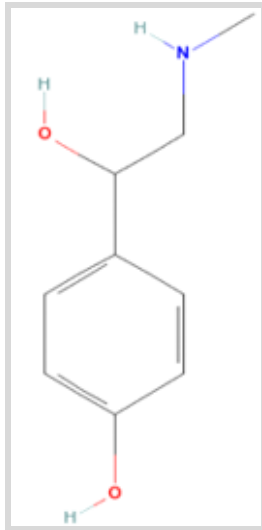
- La preparación de las propias fuentes de remolacha (i.e verduras cocidas, condimentos, jugo) no alcanza la dosis de nitratos confiable.
- El nitrato también puede ser adquirido en forma de nitrato de sodio ya que el mismo se usa como fertilizante y conservante de carnes.
- Se necesitan investigaciones detalladas para determinar el *timing* óptimo y la dosis adecuada del suplemento de nitrato/jugo para mejorar el rendimiento deportivo, particularmente en los individuos altamente entrenados.
- Estudios recientes han identificado varias situaciones en las que la capacidad física o el rendimiento han mejorado por el consumo previo al ejercicio de jugo de remolacha/nitrato: éstos incluyen el ciclismo y los eventos de carreras de 4-30 min de duración. Es necesario realizar investigaciones adicionales para ampliar nuestro conocimiento sobre las aplicaciones beneficiosas en el rendimiento deportivo.
- La suplementación también puede ser útil como soporte para el entrenamiento, sobre todo durante los períodos de exposición a condiciones de hipoxia, por ejemplo, en entrenamiento en altitud.

3.1.4 Termogénicos

Durante muchos años, la cafeína fue frecuentemente combinada con efedrina y aspirina, lo que producía una respuesta metabólica mayor que permitía una mayor pérdida de grasa corporal. Sin embargo, como resultado de la prohibición de la Administración Federal de Drogas de los alcaloides de efedrina realizada en 2004, se ha evaluado el uso de terapias alternativas para combatir la obesidad (Hoffman et al., 2009).

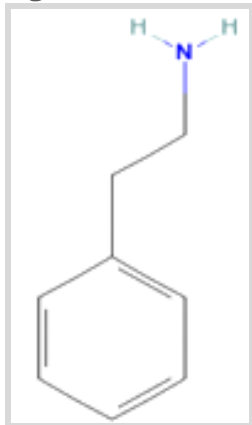
Es así que, en la actualidad, otros alcaloides están siendo estudiados para determinar su potencial para ser utilizados como termogénicos. La efectividad de estas sustancias para disminuir la masa corporal y el porcentaje de grasa del cuerpo también debe ser estudiada en forma rigurosa en trabajos experimentales. Entre estas sustancias se encuentran la sinefrina, el extracto de yerba mate, la hordenina, el ácido metil-tetradeciltioacético, la fenil-etil-amina, la pseudoefedrina, etcétera. Tal como fue señalado, algunas de estas sustancias son alcaloides y tienen una estructura química similar a la de las anfetaminas o la efedrina (figuras 2, 3 y 4).

Figura 2: Estructura química de la sinefrina



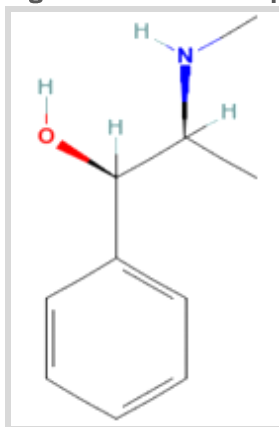
Fuente: National Intitutes of Health, 2005. Recuperada de <https://goo.gl/wD2X4E>

Figura 3: Estructura química de la fenil-etil-amina



Fuente: Adaptado de National Intitutes of Health, 2005. Recuperada de <https://goo.gl/mnBPYI>

Figura 4: Estructura química de la efedrina



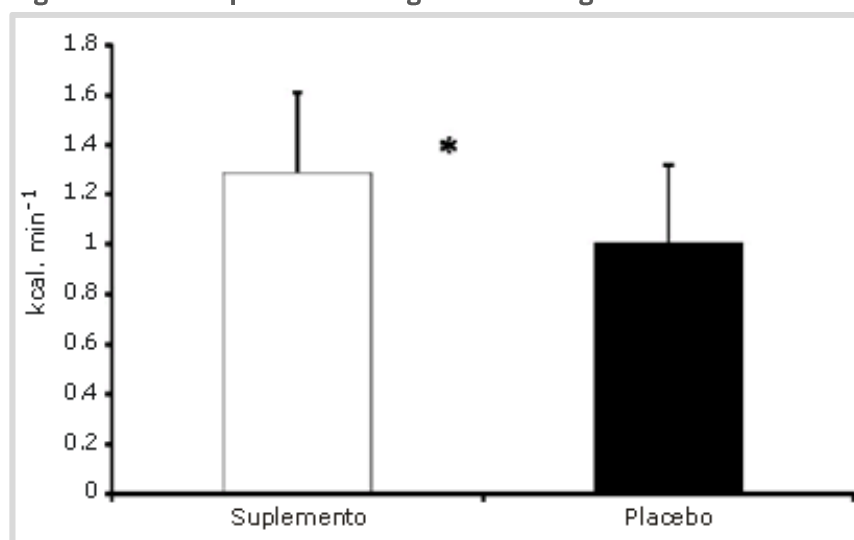
Fuente: National Intitutes of Health, 2005. Recuperada de <https://goo.gl/tIBZjv>

Composición y dosificación

Hoffman et al. (2009) estudiaron el efecto de un suplemento termogénico comercial (17 mg de una mezcla patentada de cafeína anhidra, ácido α - metil-tetradeciltioacético, extracto de yerba mate y AMPc; 20 mg de clorhidrato de metil-sinefrina, 138 mg de una mezcla patentada de β -metilfeniletilamina y metil- β -feniletilamina (la fenetilamina y sus derivados pueden ser considerados como sustancias dopantes y por lo tanto no son recomendadas para el uso en deportistas, <http://list.wada-ama.org/es/list/s6-stimulants/>); 9 mg de una mezcla patentada de 11-hidroxi-yohimbina, clorhidrato de yohimbina, y α -yohimbina; 20 mg de clorhidrato de metil-hordenina) en 5 hombres y 5 mujeres jóvenes y sanos. El diseño del trabajo implicó la administración del suplemento y la medición del consumo de oxígeno y del cociente respiratorio (RQ) durante los 180 min subsiguientes. Tal como se aprecia en la figura 5, se encontró un incremento significativo del consumo de energía durante las 3 h de medición con la administración del suplemento termogénico. Por otro lado, en la tabla 4 se puede ver también el efecto del suplemento sobre otras de las variables estudiadas.

En la figura 5 podemos apreciar diferencias significativas entre el tratamiento con suplemento y con placebo ($p < 0,05$). Los datos se presentan en forma de Media $\pm$ DS.

Figura 5: Valores promedio del gasto de energía en las 3 horas del estudio



Fuente: Hoffman et al., 2010, p. 4.

Tabla 4: Valores promedio de las mediciones de los parámetros cardiovasculares y de gasto de energía, obtenidos al comienzo del estudio (condición inicial) y en las 3 horas del estudio

Variable		Línea de base	Hora 1	Hora 2	Hora 3
Frecuencia cardíaca (lat. min⁻¹)	SUP	70.4 ± 9.4	71.2 ± 11.2	74.3 ± 12.6 *	72.3 ± 9.1*
	P	70.0 ± 6.2	67.9 ± 7.1	65.3 ± 5.7	64.8 ± 5.8
Presión sanguínea sistólica (mmHg)	SUP	112.7 ± 9.9	115.8 ± 7.7 *	121.2 ± 6.8 *	119.3 ± 8.9 *
	P	110.8 ± 9.6	111.7 ± 9.0	109.7 ± 7.3	111.7 ± 7.9
Presión sanguínea diastólica (mmHg)	SUP	74.0 ± 6.0	76.7 ± 9.1	76.1 ± 7.5	76.3 ± 7.7
	P	75.4 ± 7.5	76.1 ± 9.6	75.7 ± 5.9	74.9 ± 6.9
Gasto de energía (kcal.min⁻¹)	SUP	1.16 ± 0.36	1.25 ± 0.39 *	1.29 ± 0.34 *	1.31 ± 0.28 *
	P	1.00 ± 0.35	0.96 ± 0.27	1.03 ± 0.35	1.05 ± 0.37
RQ	SUP	0.89 ± 0.09	0.86 ± 0.05	0.80 ± 0.04 *	0.79 ± 0.04 *
	P	0.89 ± 0.07	0.87 ± 0.09	0.87 ± 0.07	0.86 ± 0.07

Fuente: Hoffman et al., 2009, p. 5

En la tabla, p<0.05; SUP>P; SUP=suplemento; P=placebo.

Es importante destacar que el suplemento utilizado incrementó significativamente los sentimientos de tensión y confusión valorados a través del cuestionario POMS. Si bien el trabajo encontró un efecto significativo sobre el gasto energético, se debe demostrar experimentalmente que esta respuesta aguda puede producir adaptaciones crónicas beneficiosas en situaciones específicas, como en el caso de sujetos con sobrepeso y obesidad, la disminución de la grasa y la masa corporal.

En relación a la composición de los termogénicos, es digno de mención que la combinación de cafeína y extracto de té verde, cuyo principio activo es el galato de epigallocatequina (un flavonoide también con efectos antioxidantes tal como se destacó previamente), ha mostrado ser efectiva en relación a su utilización como termogénico para disminuir la cantidad de grasa y peso corporal.

Aplicaciones

Sus aplicaciones están relacionadas a las situaciones en las que las personas o deportistas busquen una mejora de la composición corporal. La combinación de alimentación adecuada, ejercicio y un termogénico efectivo puede contribuir a lograr el objetivo arriba mencionado.

Timing

En la hora previa al inicio del ejercicio, buscando lograr el mayor efecto de las sustancias termogénicas durante el esfuerzo.

3.2 Ayudas ergogénicas de efecto crónico

Finalizamos el curso estudiando las ayudas ergogénicas de utilización crónica. De este modo, cubrimos a lo largo del curso todos los alimentos deportivos y ayudas ergogénicas que cuentan con evidencia sólida de efectividad, destacando dosificación, cómo y cuándo utilizarlos, y en que situaciones.

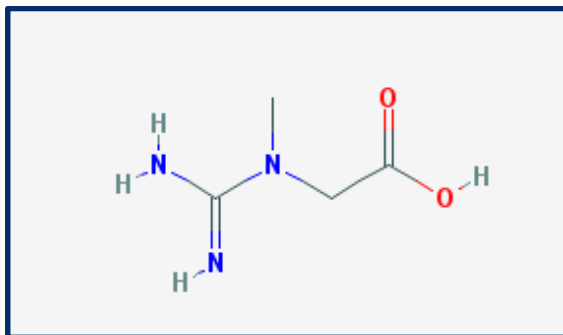
3.2.1 Creatina

Igual que la cafeína, la creatina es uno de los suplementos más investigados y tiene una base de evidencia fuerte. La **creatina o ácido metilguanidoacético** (figura 6) es un compuesto que existe en forma natural en abundancia en el músculo esquelético humano y su forma de presentación comercial más ampliamente estudiada es el monohidrato.

La creatina es un compuesto de la guanidina que se sintetiza en el hígado y en los riñones desde los aminoácidos arginina, glicina y metionina. Desde una perspectiva dietética, las fuentes predominantes de la creatina son el pescado y la carne roja, p. ej., 1kg de bistec contiene alrededor de 5g de creatina (Maughan et al., 2011). La mayor reserva de creatina en el cuerpo se encuentra en el músculo esquelético (Wyss & Kaddurah-Daouk 2000), donde aproximadamente se almacena un 60-70% en forma fosforilada que se conoce como fosfocreatina (PCr). Existen una gran cantidad de trabajos de investigación que han estudiado a esta sustancia y, en relación a esto, cabe señalar lo planteado en una reciente revisión de la ISSN.

A pesar de los mitos persistentes acerca de la suplementación con creatina asociada con el ejercicio, el monohidrato de creatina sigue siendo una de las ayudas ergogénicas más eficaces y extensamente estudiadas, disponible para los atletas. Cientos de estudios han demostrado la efectividad de la suplementación con monohidrato de creatina para aumentar la capacidad anaeróbica, la fuerza y la masa magra corporal junto con el entrenamiento. (Bufford, 2007, p. 1).

Figura 6: Estructura química del monohidrato de creatina



Fuente: Pubchem <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/586>

En el contexto de deportes de equipo con alta intensidad intermitente, la complementación con creatina es de interés particular ya que las reservas de PCr muestran descensos significantes durante los partidos de fútbol (Krustrup et al., 2006). De acuerdo con esto, la complementación con creatina mejora el rendimiento en sprints repetitivos durante ejercicios de corta duración como de prolongada duración y dinámica intermitentemente (Mujika et al., 2000), probablemente debido a un aumento de las reservas musculares de PCr en reposo, así como la mejora de las tasas de la resíntesis de PCr en los periodos de recuperación entre sprints sucesivos (Casey et al., 1996). En ambos estudios citados aquí, las mejoras en el rendimiento del sprint después de complementar con creatina (y comparado con un placebo) estaban entre 1-4%. Además de aumentar el rendimiento en los sprints repetitivos, los jugadores pueden también querer consumir creatina con el objetivo de aumentar las mejoras inducidas por el entrenamiento en la masa muscular, la fuerza y la energía (Branch 2003).

Composición y dosificación

El transportador de Cr se denomina CRT1. A través del mismo, las células musculares captan Cr (Mesa et al., 2002). Las fibras musculares tipo II presentan una mayor expresión del transportador CRT1 que las tipo I. El intervalo de concentración plasmática normal de creatina es de 50-100 μM y una ingesta aguda de 5 g de Cr eleva esta concentración hasta 600-800 μM en aproximadamente 1 hora. Si se tiene en cuenta que el K_m del transportador CRT1 es 15-30 μM , el incremento en la concentración plasmática de Cr inducido por la dosis arriba mencionada permitiría alcanzar una tasa máxima de captación de Cr.

Es importante destacar que en la administración de 20 g de Cr por día durante varios días, casi el 30 % de la Cr administrada es retenida durante los dos días iniciales de la suplementación, pero este porcentaje disminuye a solo 15 % desde los días 2 a 4 (Mesa et al., 2002). Así, la mayor parte de la Cr ingerida es retenida por el cuerpo (principalmente por el tejido muscular) en los primeros pocos días de suplementación y la mayor parte (85 a 90 %) es excretada como Cr y

creatinina en la orina durante los días sucesivos de suplementación. Por lo tanto, se propone que sea realizada una fase de carga (4 ingestas de aproximadamente 5 g por día) de solo 2 días y después, una fase de mantenimiento, en donde se ingiera 3 a 5 g de Cr por día, solo 3 o 4 días por semana, p. ej., solo después de los días en los que se realice ejercicio. Dado que la adhesión a un protocolo de este tipo por parte de un jugador puede ser limitada, hay que destacar que el consumo diario de una dosis más baja durante un periodo más largo (es decir, 3-5g/día durante 30 días) con el tiempo aumentaría la creatina muscular a un nivel similar al que se había observado con protocolos de carga clásicos (Hultman et al., 1996). Ingerir cantidades menores de monohidrato de creatina (como 5 g por día) va a incrementar las reservas musculares de creatina a través de un período de 3 o 4 semanas. Tras el cese de la suplementación, las reservas elevadas de creatina muscular tienden a volver a los niveles basales en 5-8 semanas. Teniendo en cuenta que se tarda semanas para retornar a los niveles basales al cesar la administración de suplementos (por lo tanto los efectos ergogénicos aún deben ocurrir), puede ser prudente para los atletas la práctica de "ciclar" la suplementación con creatina en determinados momentos de la temporada (p. ej., en la pre-temporada, horarios fijados) y/o hacerlo por objetivos de entrenamiento (p. ej., fuerza / hipertrofia) (Morton 2014).

Es importante tener en cuenta que no todas las personas responden de manera similar a una suplementación con creatina en términos de aumento de las reservas de la creatina muscular así como de las mejoras posteriores en el rendimiento. De hecho, la magnitud del aumento de la creatina muscular para una dosis de creatina es muy variable y parece estar determinada en gran medida por el nivel inicial de la concentración de creatina muscular antes de la complementación, esta última probablemente determinada por la dieta habitual (Hultman et al., 1996). En consecuencia, las mejoras inducidas por la creatina en el rendimiento del ejercicio intermitente son mayores en aquellos individuos que presentaron mayores incrementos en la creatina muscular (especialmente las fibras tipo II) y PCr (Casey et al., 1996).

Prácticamente todos los estudios indican que una suplementación apropiada con Cr incrementa la masa corporal en aproximadamente 1-2 kg en la primera semana de carga (Bufford, 2007). Esto podría implicar una pérdida de rendimiento en los deportes en los que haya que trasladar la masa corporal, tales como la carrera y el ciclismo (en particular si es en montaña). Estos aumentos en la masa corporal se limitan a la masa libre de grasa y son probablemente debido a un aumento en la acumulación de agua intracelular. Por esta razón, no todos los jugadores pueden optar por complementar con creatina dada la percepción de que se sienten más pesados y más lentos, un efecto que puede ser especialmente relevante para aquellos que confían en la

velocidad y la agilidad física como atributos clave de los atletas (como los delanteros y centrocampistas en el fútbol).

Para maximizar el almacenamiento de creatina, se recomienda también que la creatina que se consuma posterior al ejercicio y en conjunción con alimentos con carbohidratos y/o proteicos, dado que la contracción muscular y la insulina elevada son conocidas por aumentar la absorción de creatina muscular (Robinson et al., 1999). Ha sido demostrado que la ingesta conjunta de Cr y carbohidratos permite que se produzca un incremento en el contenido muscular de Cr total hasta un 60 % mayor a cuando la Cr es ingerida sola. También es muy interesante el hallazgo que indica que la ingesta conjunta de Cr y carbohidratos reduce la variabilidad interindividual en la acumulación de Cr.

Es digno de mención que la supercompensación de glucógeno tiende a ser mayor si se realiza una carga simultánea de carbohidratos y creatina, debido a que la carga de creatina incrementa el volumen muscular y de este modo mejora la supercompensación de glucógeno. Esto plantea aplicaciones prácticas para diferentes deportes en cuanto a optimizar los niveles de glucógeno, independientemente de los otros efectos demostrados para este suplemento. Una carga de creatina anterior también puede mejorar las tasas de la resíntesis del glucógeno muscular posterior al ejercicio (Robinson et al., 1999). Teniendo en cuenta la dificultad de rellenar las reservas de glucógeno muscular después de los partidos aún con la suficiente cantidad de carbohidratos y de proteínas, esta estrategia parece ser relevante durante esos periodos de horarios fijados e intensos en los que se juegan más de un partido y con poco tiempo de recuperación entre ellos.

Es interesante señalar que ha sido reportado que la ingesta de Cr después de una hora de ejercicio físico submáximo aumenta la acumulación de creatina muscular en un 10 %, aunque se han observados variaciones marcadas entre individuos. No obstante, también debería tenerse en cuenta que la magnitud de acumulación de creatina muscular se reduce cuando la Cr es ingerida con carbohidratos después del ejercicio hasta el agotamiento.

Aplicaciones

El mecanismo propuesto a través del cual la Cr actúa como ayuda ergogénica implica el aumento del contenido total de creatina muscular [creatina + fosfocreatina (PCr)] (Mesa et al., 2002). La creatina muscular se incrementa en aproximadamente un 50 %, mientras que la fosfocreatina se incrementa un 12.5 % (Mesa et al., 2002).

Teniendo en cuenta que en los trabajos de intensidad máxima y corta duración el ATP es resintetizado durante los primeros segundos de trabajo a partir de la PCr, el incremento de la concentración muscular de

fosfocreatina permite sostener una alta tasa de resíntesis de ATP durante más tiempo. De este modo, la mayor parte de los estudios con diseños doble ciego y con entrecruzamiento han demostrado que hay un efecto ergogénico de la administración de Cr sobre la producción de potencia durante actividades de alta intensidad y corta duración.

La mejora de la fuerza y la potencia, y por lo tanto del rendimiento en sprints únicos y repetidos en carrera y ciclismo, está demostrada, así como los incrementos de fuerza y masa muscular cuando se la utiliza en procesos de entrenamiento de sobrecarga. Sus aplicaciones en los deportes de resistencia (sin fase de carga) están relacionadas además de la mejora de la capacidad de sprint, al incremento de la reserva de glucógeno.

Timing

Antes, y después del ejercicio, y en otros momentos del día cuando se realiza una fase de carga, siempre acompañada de carbohidratos (por ejemplo 1 g/kg).

Protocolo del Instituto Australiano del Deporte

- El suplemento dietético de creatina más estudiado es la creatina monohidratada y se han establecido varios protocolos de carga:
 - La carga rápida puede lograrse con 5 días de dosis repetidas (p. ej., cuatro dosis x 5 g) de creatina.
 - La carga lenta se lleva a cabo durante un período más largo (28 días con una dosis diaria de 3 g).
 - La dosis de mantenimiento de 3 g/día permite que se mantengan niveles elevados de creatina.
 - Descarga: Una vez que el contenido de creatina muscular se ha saturado deberán transcurrir por lo menos 4 semanas para que regrese a los niveles de descanso.
- El consumo de las dosis de creatina con una cantidad sustancial de carbohidratos (50-100 g) (Green et al., 1996) aumenta la incorporación y almacenamiento de creatina en el músculo. Consumir la dosis de creatina junto con una comida o bocadillo con elevado contenido de carbohidratos puede ayudar a que todos los individuos respondan a la suplementación con creatina y alcancen el umbral de almacenamiento de creatina muscular.
- Con la carga aguda generalmente se produce un aumento de peso de 600-1000 g lo que puede indicar retención de líquido. Aunque se ha sugerido que el protocolo de carga lento puede evitar esta ganancia de peso, esta teoría no ha sido estudiada adecuadamente. Es posible que cualquier cambio de peso asociado con la carga lenta sea enmascarado por fluctuaciones

normales en la masa corporal o por los resultados del entrenamiento y de intervenciones dietarias de mayor duración.

- La creatina monohidratada es la fuente común de creatina en los suplementos que se encuentran disponibles en el mercado y la experiencia de 20 años de investigación y uso de este producto según los protocolos establecidos sugiere que es segura y eficaz. Otras formas diferentes de creatina han sido incluidas en los nuevos suplementos con el argumento de que representan una fuente superior de creatina; entre estas nuevas fórmulas podemos encontrar suero de creatina, malato de creatina y éster etílico de creatina. No se han establecido correctamente la eficacia, seguridad y las regulaciones concernientes a la mayoría de estas nuevas formas de creatina encontradas en los suplementos dietéticos. Adicionalmente, existe poca o ninguna evidencia que apoye los argumentos comerciales de que estas fuentes alternativas de creatina sean más estables, más fácilmente digeribles, más eficaces para aumentar los niveles de creatina en el músculo y para lograr resultados en el rendimiento o estén asociadas con menos efectos secundarios (Jager et al., 2011).
- Existe evidencia robusta que la suplementación con creatina puede mejorar el rendimiento físico que involucra sprints repetidos o series de ejercicio de alta intensidad, separadas por períodos de recuperación cortos. La mejora de rendimiento durante las competencias puede observarse como resultado de un protocolo de carga agudo o de su uso crónico. Entre estas situaciones podemos incluir los siguientes casos:
 - Un atleta desarrollado realiza entrenamiento de la fuerza para aumentar la masa magra corporal.
 - Sesiones de entrenamiento intervalado y con sprints en las cuales el atleta debe repetir esfuerzos máximos explosivos con intervalos de recuperación breves.
 - Deportes con patrones de trabajo intermitentes (p. ej. fútbol, básquetbol, fútbol americano, deportes con raqueta).
- La aplicación de una carga de creatina para aumentar el almacenamiento de glucógeno o las reservas cerebrales de creatina no ha sido suficientemente investigada para plantear recomendaciones claras, pero sería muy importante realizar investigaciones detalladas sobre esto.
- También sería importante realizar estudios adicionales sobre la suplementación con creatina que involucren aplicaciones deporte-específicas y en atletas entrenados o de elite.

3.2.2 Beta-alanina

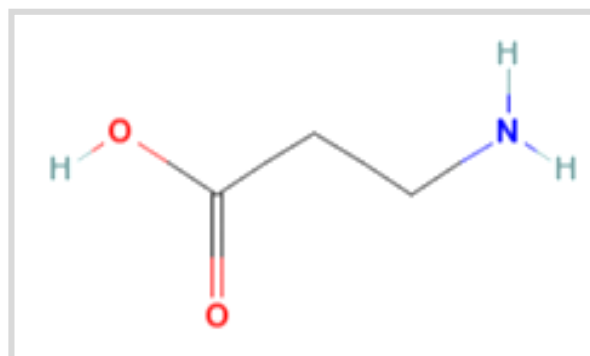
Este aminoácido (figura 7) junto a la L-histidina forman un dipéptido (figura 8) llamado carnosina, que se encuentra en una alta

concentración en el músculo esquelético, particularmente en las fibras tipo II (Van Thienen, 2009). La carnosina ha sido implicada en una serie de funciones celulares, incluidos la regulación de la sensibilidad al calcio, inhibición de la glucosilación y entrecruzamiento de proteínas, y destrucción de radicales libres, así como regulación de la actividad enzimática. En la actualidad el único rol fisiológico de la carnosina, que ha sido corroborado por observaciones en humanos, es la amortiguación del pH intracelular.

El anillo imidazol (el anillo que aparece a la izquierda de la figura 8) de la carnosina tiene un $pK_a = 6.83$, cercano al pH intracelular durante el esfuerzo (~ 6.5), lo que convierte a la carnosina en una potente molécula amortiguadora de protones o hidrogeniones (H^+). En la actualidad, se piensa que la carnosina explica aproximadamente el 10 % de la capacidad buffer total en las células del músculo esquelético. Es interesante señalar que, aunque los mecanismos celulares implicados en el desarrollo de la fatiga están todavía en discusión, se cree que la acumulación intracelular de protones está relacionada con la fatiga durante las contracciones musculares de alta intensidad.

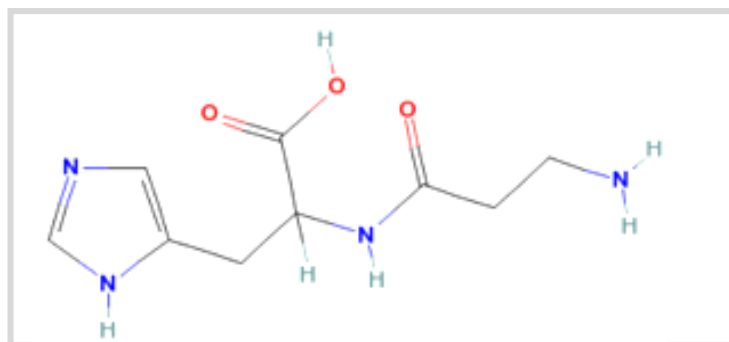
Como tal, ha pasado a ser una práctica común en jugadores de fútbol el consumir suplementos diarios de β -alanina para aumentar las reservas de la carnosina en el músculo y así, mejorar potencialmente el rendimiento en ejercicios de alta intensidad. Desafortunadamente, las investigaciones que evalúan los efectos de la β -alanina durante ejercicios intermitentes de alta intensidad que se pueden aplicar a deportes de campo como el fútbol son limitados y conflictivos.

Figura 7: Estructura química de la β -alanina



Fuente: National Institutes of Health, 2004. Recuperada de <https://goo.gl/SFiPdy>

Figura 8: Estructura química de la carnosina



Fuente: National Institutes of Health, 2004. Recuperado de <https://goo.gl/24tnNX>

Composición y dosificación

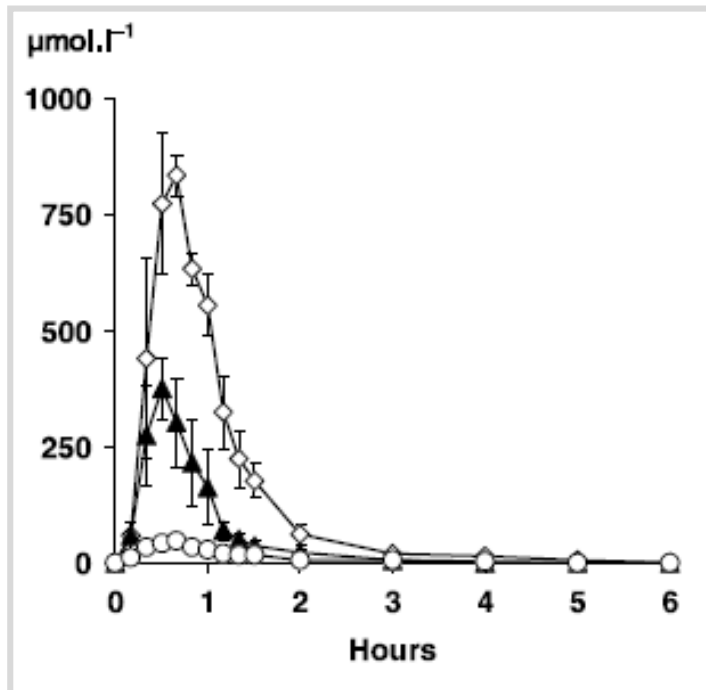
Harris et al. (2006) estudiaron las respuestas agudas y crónicas a la ingestión de diferentes cantidades de β -alanina. En la figura 9 se presenta la concentración plasmática de β -alanina en función del tiempo ante la ingestión de diferentes dosis. Con dosis de 10 a 40 mg.kg^{-1} de masa corporal, el pico plasmático de β -alanina se alcanzó en menos de 1 hora, y a las 3 horas las concentraciones habían retornado a los valores de reposo. Las dosis de 10, 20 y 40 mg.kg^{-1} incrementaron las concentraciones plasmáticas de β -alanina desde un valor menor a 0.5 μM hasta valores de 50-100 μM , aprox. 400 μM , y 800 μM , respectivamente.

Teniendo en cuenta el K_m del transportador de β -alanina (40 μM), estos valores plasmáticos alcanzados con las mencionadas dosis, implicaron que se alcance el 67, 91 y 95 % de la velocidad máxima de transporte de β -alanina hacia las células musculares. De acuerdo con estos resultados, la dosis más apropiada sería la de 40 mg.kg^{-1} ; no obstante, esta dosis indujo de manera característica una sensación de hormigueo (o parestesia), el cual es un efecto secundario de la ingestión de β -alanina que ha sido anteriormente reportado en la literatura y en reportes anecdóticos de deportistas. Para reducir dichos síntomas, se han desarrollado fórmulas de liberación sostenida para ingerir simultáneamente dos dosis de 800mg sin ningún síntoma (Decombaz et al., 2012). Aunque la dosificación óptima y la estrategia de entrega de β -alanina no se conoce actualmente, hay que destacar que existe una relación lineal entre la ingesta total de β -alanina (entre 1,6 – 6,4g/d) y los aumentos absolutos y relativos en carnosina muscular (Stellingwerff et al., 2012).

Por otro lado, también es importante tener en cuenta las pérdidas que se producen a través de la orina ante la ingestión de las diferentes dosis. Los investigadores (Harris et al., 2006) encontraron pérdidas del $0,60 \pm 0,09$, $1,50 \pm 0,40$, y $3,64 \pm 0,47$ % de la dosis ingerida, para las dosis agudas de 10, 20 y 40 mg.kg^{-1} , respectivamente. De este modo, no es recomendable superar los 20 mg/kg , o aproximadamente 1,6-2 g de β -alanina por dosis. Además, estos mismos autores estudiaron el efecto

de la ingestión de 3,2 o 6,4 g de β -alanina.día⁻¹, con las ingestas divididas en varias dosis; por ejemplo, 4 dosis de 800 mg o dosis de 400 y 800 mg distribuidas a lo largo del día, durante 4 semanas. Lo que observaron fue un incremento en la concentración muscular de β -alanina de 42,1 y 64,2 % luego de las 4 semanas de suplementación.

Figura 9: Concentración promedio de β -alanina plasmática ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) luego de la ingestión de 10 ($\circ$), 20 ($\blacktriangle$), o 40 ($\diamond$) mg.kg⁻¹ de β -alanina.



Fuente: Harris et al., 2006, p. 282.

Por razones de claridad, los desvíos estándar de los valores medios se muestran solo para las mediciones luego de las ingestas de 20 y 40 mg.kg

Aplicaciones

En relación a las aplicaciones de la β -alanina a los deportes de resistencia, son muy interesantes los hallazgos de un estudio relativamente reciente de Jeffrey R. Stout et al. (2006). Ellos realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de estudiar los efectos de 28 días de suplementación con β -alanina y Cr (estudiando el efecto de administrarlas conjuntamente o por separado) sobre el inicio de la fatiga neuromuscular medida a través de un test previamente validado (test de valoración de la capacidad de trabajo físico en el umbral de la fatiga) en hombres desentrenados. Los sujetos del trabajo fueron asignados aleatoriamente a 1 de 4 condiciones de tratamiento usando un diseño doble ciego: (a) placebo (PLA, 34 g de dextrosa; n=13), (b) creatina (CrM, 5.25 g de monohidrato de creatina (CrM) más 34 g de dextrosa, n=12), (c) β -alanina, (1.6 g de β -Ala más 34 g de dextrosa,

n=12) o (d) β -alanina más CrM (CrBA, 5.25 g de monohidrato de creatina más 1.6 g de β -alanina más 34 g de dextrosa, n=14). Los suplementos fueron idénticos en sabor y apariencia, y se disolvieron en aproximadamente 450 ml de agua e ingeridos cuatro veces por día durante 6 días consecutivos, y luego dos veces por día durante 22 días antes de la segunda valoración de la aptitud física (la primera fue realizada antes de iniciar el período de suplementación). Los únicos grupos en los que se observó un incremento significativo en la producción de potencia a la que se producía el inicio de la fatiga neuromuscular fueron los grupos β -Ala, y CrBA.

Por lo tanto, la CrM no ejercería un efecto sobre el umbral de fatiga neuromuscular y todo el efecto sería atribuido a la β -alanina. Es así que el resultado principal de este estudio sugiere que la suplementación con β -alanina (3.2 g/día) durante 28 días podría retrasar el inicio de fatiga neuromuscular y mejorar la capacidad de trabajo físico durante un ejercicio en bicicleta ergométrica. Aunque las recomendaciones deberían ser realizadas después de pruebas clínicas, estos hallazgos pueden ser útiles para los nutricionistas, profesionales especializados en fuerza y acondicionamiento y atletas que contemplan el uso de la β -alanina. Además, estos hallazgos proporcionan un fundamento para que futuros estudios puedan poner a prueba la hipótesis que indica que la β -alanina pueden incrementar las concentraciones de carnosina muscular, lo cual consecuentemente puede mejorar la capacidad de amortiguamiento de protones (H⁺) dentro del músculo esquelético.

Los trabajos recientes realizados en humanos han demostrado consistentemente que la suplementación con β -alanina (4 a 6 g por día) a través de un período de 4 a 10 semanas, puede incrementar sustancialmente (> 50 %), el contenido de carnosina en las fibras musculares tipo I y II, y esto implica una mejora en el rendimiento en series máximas de ejercicio de 1 a 2 min. Teniendo en cuenta que la creatina tiene la capacidad de incrementar la producción máxima de potencia en esfuerzos de corta duración y de incrementar el rendimiento en sprints repetidos; y que la β -alanina y el bicarbonato de sodio pueden incrementar la capacidad buffer intracelular, la combinación de estos tres suplementos puede ser ideal en algunas poblaciones de deportistas tales como los velocistas en atletismo o ciclismo. Del mismo modo, el efecto sumado de los tres suplementos podría ser beneficioso durante el entrenamiento de la fuerza.

En un trabajo reciente, Van Thienen et al. (2009), estudiaron el efecto de la suplementación con β -alanina (8 semanas con dosis de 2 a 4 g por día, distribuidos en cápsulas de 500 mg a lo largo del día) en 21 ciclistas jóvenes, de moderada a altamente entrenados, sobre una prueba contrarreloj de 10 minutos y la capacidad de sprint en 30 min. La suplementación con β -alanina incrementó tanto la capacidad de sprint como la producción de potencia media en la prueba contrarreloj. Tal

como fue indicado, la sensación de hormigueo luego de la ingestión de β -alanina, puede aparecer cuando la dosis utilizada es mayor a 20 mg.kg⁻¹. En el estudio de Van Thienen et al. (2009), los sujetos ingirieron el suplemento en varias dosis a lo largo del día, con dosis de 7 mg.kg⁻¹, que no indujeron ningún efecto secundario. Cabe destacar también que la dosis mínima efectiva que había sido informada correspondía a 65-86 mg.kg⁻¹.día⁻¹, no obstante en este estudio encontraron un efecto ergogénico con una dosis menor (55 mg.kg⁻¹.día⁻¹).

Timing

Antes y después del ejercicio, y en otros momentos del día acompañando a las comidas, lo que mejora la absorción de la beta-alanina.

Protocolo del Instituto Australiano del Deporte

- Los suplementos de β -alanina incluyen polvos y cápsulas de rápida absorción así como también formulaciones de liberación sostenida.
- Hasta el momento los protocolos para optimizar el contenido de carnosina no han sido explorados con detalle, pero algunos principios están claros.
- El aumento rápido en los niveles sanguíneos de β -alanina está asociado con efectos colaterales de parestesia (sensación de comezón en la piel), algo que puede ser incómodo en algunos individuos.
- Esto generalmente ocurre con dosis >10 mg/kg de masa corporal y puede ser equivalente a la cantidad proporcionada por fuentes dietéticas como una pechuga de pollo grande.
- Los niveles sanguíneos de β -alanina suben y bajan dentro de 2 h de la suplementación; por consiguiente las dosis seriadas o divididas en cantidades pequeñas (<10 mg/kg) durante el día, que permitan mantener continuamente las concentraciones sanguíneas, pueden ser una estrategia eficaz para maximizar el consumo del músculo al tiempo que se minimizan los efectos colaterales.
- Las formulaciones de liberación sostenida de β -alanina pueden lograr el mismo efecto que las dosis divididas de una fórmula de absorción rápida (Harris et al., 2008).
- Los protocolos que ha demostrado ser eficaces para aumentar las concentraciones de carnosina en el músculo incluyen dosis con 3,2-6,4 g/día durante 6-10 semanas.
- Hasta el momento no hay ninguna indicación clara de cuál es el valor máximo para el contenido muscular de carnosina, ni de cuál es la dosis que los protocolos deben asegurar para mantener un músculo cargado con carnosina.

- Aparentemente todos los individuos responden a la suplementación con β -alanina independientemente del contenido inicial de carnosina en el músculo.
- El período de limpieza de la carnosina muscular luego de la interrupción de la suplementación es lento y puede demorar aproximadamente 15 semanas para retornar a las concentraciones iniciales (Baguet et al. 2009).
- La suplementación con β -alanina no está asociada con aumento de peso.
- Existe una buena cantidad de evidencia teórica y nueva que apoya el uso de β -alanina por parte de atletas que participan en eventos que están limitados por la baja del pH (aumento de iones H^+) en el músculo en asociación con ejercicios de alta intensidad.
 - Eventos de competencias sostenidas de 1-7 min de duración (p. ej., remo, natación ciclismo de pista, carreras de medio fondo).
 - Series repetidas de trabajo de alta intensidad (sprints, levantamientos) que provoquen un aumento a lo largo del tiempo en los iones H^+ . Entre estos podemos incluir:
 - Entrenamiento intervalado y entrenamiento de la fuerza.
 - Deportes de equipo y con raquetas.
 - Esfuerzos de alta intensidad realizados durante o al final de ejercicios prolongados que se realizan principalmente en intensidades inferiores a las asociadas con las limitaciones vinculadas al pH (p. ej., ciclismo de ruta y carreras de fondo).
- En estas situaciones, la suplementación con β -alanina proporciona una estrategia crónica para aumentar la capacidad buffer del músculo. Esto puede aumentar el rendimiento de eventos de competición simples o repetidos.
- El aumento crónico en la capacidad buffer del músculo también puede proporcionar una ayuda para aumentar las adaptaciones al entrenamiento, ya sea aumentando la capacidad de entrenar duro o reduciendo el daño asociado con los niveles altos de acidez muscular.
- La β -alanina tiene el potencial para proporcionar una estrategia alternativa o adicional a la carga con bicarbonato/citrato.
- El aumento en las concentraciones de carnosina en el músculo puede ofrecer otras ventajas, además de las adaptaciones al entrenamiento y el rendimiento en las competencias, que surgen de los otros roles que desempeña en el músculo (ej., actividad antioxidante).

3.2.3 Periodización de las ayudas ergogénicas

Habiendo analizado todas las ayudas ergogénicas y los protocolos de utilización de éstas, es muy importante para el profesional que las prescribe a los atletas periodizar su utilización en función de los objetivos y el calendario de competencias del deportista.

Para estas ayudas ergogénicas encontramos períodos de lavado o washout que están cerca de 8 a 12 semanas, el cual puede coincidir con el período de transición o recuperación del deportista. Es importante tener en cuenta en el caso de la beta-alanina que se requieren de 4 a 8 semanas de suplementación continua para lograr los mayores beneficios. Esto claramente debe ser tenido en cuenta para que coincida con los momentos en los que el deportista desea alcanzar su mejor estado de forma para lograr un rendimiento máximo.

3.2.4 Sustancias inefectivas o peligrosas

Hemos destacado en el módulo 2 algunas sustancias inefectivas o peligrosas. Enumeramos a continuación algunas ayudas ergogénicas que pueden encontrarse en el mercado con estas características:

- Efedrina.
- Pseudoefedrina.
- Tribulus terrestris.
- DHEA.
- ATP.
- Ginseng.
- Citocromo C.
- Óxido nítrico.

Referencias

Beelen, M., J. Kranenburg, J. M. Senden, H. Kuipers and L. J. Loon. (2012). Impact of caffeine and protein on postexercise muscle glycogen synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 44(4): 692-700.

Branch, J. D. (2003). Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13(2): 198-226.

Buford T. W., Kreider, R.B., Stout, J.R., Greenwood, M., Campbell, B., Spano, M., Ziegenfuss, T., Lopez, H., Landis, J., y Antonio, J. (2007). International Society of Sports Nutrition Position Stand: Creatine Supplementation and Exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*.

Casey, A., D. Constantin-Teodosiu, S. Howell, E. Hultman and P. L. Greenhaff (1996). Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *Am J Physiol* 271(1 Pt 1): E31-37.

Davis, J. M., Z. Zhao, H. S. Stock, K. A. Mehl, J. Buggy and G. A. Hand (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 284(2): R399-404.

Decombaz, J., M. Beaumont, J. Vuichoud, F. Bouisset and T. Stellingwerff (2012). Effect of slow-release beta-alanine tablets on absorption kinetics and paresthesia. *Amino Acids* 43(1): 67-76.

Duvnjak-Zaknich, D. M., B. T. Dawson, K. E. Wallman and G. Henry (2011). Effect of caffeine on reactive agility time when fresh and fatigued. *Med Sci Sports Exerc* 43(8): 1523-1530.

Foskett, A., A. Ali and N. Gant (2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 19(4): 410-423.

Fredholm, B. B. (1995). [Should coffee be classified as a doping agent? Caffeine is definitely effective when it comes to performance capacity]. *Lakartidningen* 92(44): 4079-4080.

Gant, N., A. Ali and A. Foskett (2010). The influence of caffeine and carbohydrate coingestion on simulated soccer performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 20(3): 191-197.

Graham, T. E. and L. L. Spriet (1995). Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol* (1985) 78(3): 867-874.

Haider, G. and J. P. Folland (2014). Nitrate Supplementation Enhances the Contractile Properties of Human Skeletal Muscle. *Med Sci Sports Exerc*.

Harris, R., Tallon, M., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H., Fallowfield, J., Hill, C., Sale, C., y Wise, J. (2006). The absorption of orally supplied β -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*.

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

Hoffman Jay R., Jie Kang, Nicholas A. Ratamess, Stefanie L. Rashti, Christopher P. Tranchina and Avery D. Faigenbaum (2009). Thermogenic effect of an acute ingestion of a weight loss supplement. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 6:1.

Hultman, E., K. Soderlund, J. A. Timmons, G. Cederblad and P. L. Greenhaff (1996). Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* (1985) 81(1): 232-237.

International Endurance Work Group. (2014). Protocolo del AIS para la utilización de cafeína. Recuperado el 03/6/2016 de <http://goo.gl/D3zMxN>

International Endurance Work Group. (2014). Protocolo del AIS para la utilización de bicarbonato. Recuperado el 03/6/2016 de <http://goo.gl/vVg8rx>

International Endurance Work Group. (2014). Protocolo del AIS para la utilización de jugo de remolacha. Recuperado el 03/6/2016 de <http://goo.gl/pctXeo>

International Endurance Work Group. (2015). Protocolo del AIS para la utilización de creatina. Recuperado el 03/6/2016 de <http://goo.gl/9qJGUJ>

International Endurance Work Group. (2014). Protocolo del AIS para la utilización de beta-alanina. Recuperado el 03/6/2016 de <http://goo.gl/jSy3uC>

Jones A. M., Satoshi Haramizu, Mayur Ranchordas, Louise Burke, Samantha Stear, and Linda M. Castell. (2011). *BJSM reviews: A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods*

and ergogenic aids for health and performance. Part 27. Br J Sports Med, 45: 1246-1248.

Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. Sports Med 44 Suppl 1: S35-45.

Kreider R. B, A. L Almada, J. Antonio, C. Broeder, C. Earnest, M. Greenwood, T. Incledon, D. S. Kalman, S. M. Kleiner, B. Leutholtz, L. M. Lowery, R. Mendel, J. R. Scout, D. S. Willoughby, T. N. Ziegenfuss (2004). ISSN Exercise & Sport Nutrition Review: Research & Recommendations. Sports Nutrition Review Journal; 1 (1), pp. 1-44.

Krustrup, P., M. Mohr, A. Steensberg, J. Bencke, M. Kjaer and J. Bangsbo (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. Med Sci Sports Exerc 38(6): 1165-1174.

Larsen, F. J., T. A. Schiffer, S. Borniquel, K. Sahlin, B. Ekblom, J. O. Lundberg and E. Weitzberg. (2011). Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. Cell Metab 13(2): 149-159.

Maridakis, V., M. P. Herring and P. J. O'Connor (2009). Sensitivity to change in cognitive performance and mood measures of energy and fatigue in response to differing doses of caffeine or breakfast. Int J Neurosci 119(7): 975-994.

Maughan, R. J., P. L. Greenhaff and P. Hespel. (2011). Dietary supplements for athletes: emerging trends and recurring themes. J Sports Sci 29 Suppl 1: S57-66.

Meeusen, R. (2014). Exercise, nutrition and the brain. Sports Med 44 Suppl 1: S47-56.

Mesa, L., Ruiz, J., González-Gross, M., Gutiérrez Sáinz, A., y Castillo Garzón, y M. Oral. (2002). Creatine Supplementation and Skeletal Muscle Metabolism in Physical Exercise. Sports Med.

Morton, J. P. (2014). Supplements for consideration in football. Sports Science Exchange 27(130): 1-8.

Mujika, I., S. Padilla, J. Ibanez, M. Izquierdo and E. Gorostiaga (2000). Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. Med Sci Sports Exerc 32(2): 518-525.

Pedersen, D. J., S. J. Lessard, V. G. Coffey, E. G. Churchley, A. M. Wootton, T. Ng, M. J. Watt and J. A. Hawley. (2008). High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. J Appl Physiol (1985) 105(1): 7-13.

Robinson, T. M., D. A. Sewell, E. Hultman and P. L. Greenhaff (1999). Role of submaximal exercise in promoting creatine and glycogen accumulation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985) 87(2): 598-604.

Stear J., L.M. Castell, L.M. Burke, L. L. Spriet. (2010). BJSM reviews: A–Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 6. *Br. J. Sports. Med.* 44: 297-298

Stellingwerff, T., H. Anwender, A. Egger, T. Buehler, R. Kreis, J. Decombaz and C. Boesch (2012). Effect of two beta-alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids* 42(6): 2461-2472.

Stout, J., Cramer, J., Mielke, M., O’Kroy, J., Torok, D., y Zoeller, R.F. (2006). Effects of Twenty-eight Days of Beta-Alanine and Creatine Monohydrate Supplementation on the Physical Working Capacity at Neuromuscular Fatigue Threshold. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.

Van Montfoort MC, Van Dieren L, Hopkins WG, Shearman JP. (2004). Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36 (7): 1239-43.

Van Thienen, R., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T., y Hespel, P. (2009) B-Alanine Improves Sprint Performance in Endurance Cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.

Wylie, L. J., M. Mohr, P. Krstrup, S. R. Jackman, G. Ermiotadis, J. Kelly, M. I. Black, S. J. Bailey, A. Vanhatalo and A. M. Jones (2013). Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol* 113(7): 1673-1684.

Wyss, M. and R. Kaddurah-Daouk (2000). Creatine and creatinine metabolism. *Physiol Rev* 80(3): 1107-1213.