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.

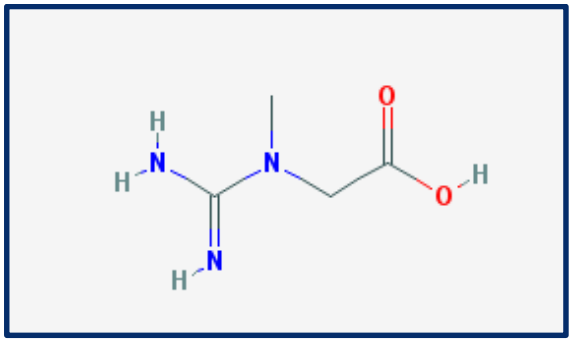
3.2.1 Creatina

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 musculo 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 Km 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

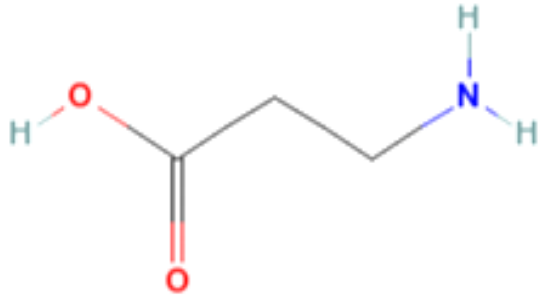
Este aminoácido (figura 7) junto a la L-histidina forman un dipétido (figura 8) llamado carnosina, que se encuentra en una alta

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 pKa= 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.

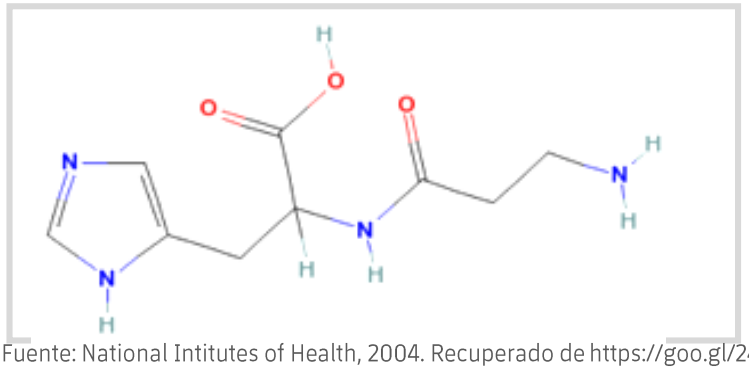
Como tal, ha pasado a ser una práctica común en jugadores de fútbol el consumir suplementos diarios de β-alanina para aumentar las reservas de la carnosina en el músculo y así, mejorar potencialmente el rendimiento en ejercicios de alta intensidad. Desafortunadamente, las investigaciones que evalúan 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 Intitutes of Health, 2004. Recuperada de https://goo.gl/SFiPdy

Figura 8: Estructura química de la carnosina



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

Composición y dosificación

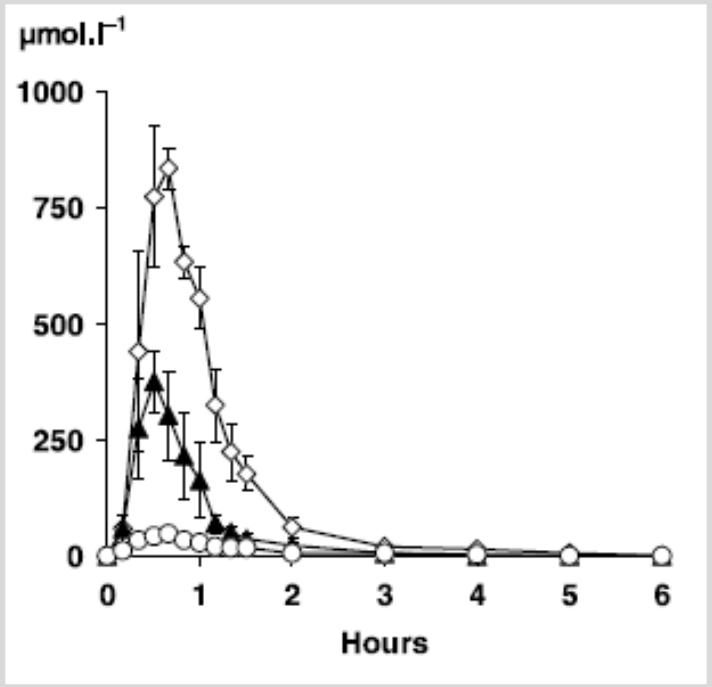
Harris et al. (2006) estudiaron las respuestas agudas y crónicas a la ingestión de diferentes cantidades de β-alanina. En la figura 9 se presenta la concentración plasmática de β-alanina en función del tiempo ante la ingestión de diferentes dosis. Con dosis de 10 a 40 mg.kg-^{1} de masa corporal, el 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 Km 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 linear 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±0,09, 1,50±0,40, y 3,64±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 (µmol.L-1) luego de la ingestión de 10 (○), 20 (▲), o 40 (◊) 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 absortion 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 & Recommendatios. 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. Anwander, 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. Krustrup, 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.