4.1 Ayudas ergogénicas

En este módulo, discutiremos una serie de suplementos que pueden ser importantes en un día de partido o en el período previo a un día de partido. Hay más de 55 000 suplementos en el mercado, por lo que es imposible discutir todos los suplementos. Aquí nos enfocaremos en 8 suplementos que tienen una buena justificación y pruebas, así como algunos suplementos que son muy comunes (pero es posible que no estén respaldados por una gran cantidad de pruebas).

4.1.1 Cafeína

La cafeína se encuentra en una gran variedad de bebidas y alimentos como el té, el café, la bebida cola, el guaraná y el chocolate. La mayoría de las bebidas con cafeína que se consumen en todo el mundo se extraen de granos de café o de hojas de té. Sin embargo, la cafeína también se puede encontrar en muchos productos de nutrición deportiva, como geles, gomas de mascar, concentrados energéticos y bebidas energéticas. En la Tabla 1, se enumera el contenido de cafeína de una gama de productos. La cafeína es un fármaco y una sustancia alimenticia. A menudo, se la describe como el fármaco más consumido de todo el mundo. Además, es la más estudiada de todas las ayudas ergogénicas. Varios estudios han demostrado claramente que la cafeína mejora no solo el desempeño de la resistencia, sino también diversos aspectos cognitivos.

Tabla 1: Contenido de cafeína de diversos alimentos, bebidas y medicamentos

Elemento	Contenido de cafeína (mg)
Café	
Método de goteo (150 ml [5 oz])	110-150
Percolado (150 ml [5 oz])	64-124
Instantáneo (150 ml [5 oz])	40-108
Descafeinado (150 ml [5 oz])	2-5
Starbucks grande (480 ml [16 oz])	550
Starbucks alto (360 ml [12 oz])	375
Starbucks pequeño (240 ml [8 oz])	250
Starbucks latte alto (360 ml [12 oz])	70
Té	
Infusión de 1 min (150 ml [5 oz])	9-33
Infusión de 3 min (150 ml [5 oz])	20-46
Infusión de 5 min (150 ml [5 oz])	20-50
Té instantáneo (150 ml [5 oz])	12-28
Té helado (360 ml [12 oz])	22-36
Chocolate	
Hecho de mezcla	6
de chocolate con leche (30 g [1 oz])	6
Chocolate para hornear	35
Barra de chocolate (100 g [4 oz])	12-15
Bebidas carbonatadas	
Mountain Dew (355 ml [12 fl oz])	55
Mello Yello (355 ml [12 fl oz])	52
Coca-Cola (355 ml [12 fl oz])	46
Coca- Cola dietética (355 ml [12 fl oz])	46
Pepsi (355 ml [12 fl oz])	38
Pepsi dietética (355 ml [12 fl oz])	36
Dr. Pepper (355 ml [12 fl oz])	40
Red Bull (250 ml [8 oz])	80

Elemento	Contenido de cafeína (mg)
Analgésicos (por tableta)	
Anacin	32
Excedrin	65
Midol	32
Aspirina	0
Vanquish	33
Diuréticos (por tableta)	
Aqua Ban	200
Pre-Mens Forte	100
Remedios para el resfriado (por tableta)	
Coryban-D	30
Dristan	0
Triaminicina	30
Ayudas para controlar el peso (por tableta)	
Dexatrim	200
Prolamine	140
Estimulantes (por tableta)	
Pro Plus	50
NoDoz	100
Analgésicos recetados (por tableta)	
Cafergot	100
Compuesto de Davron	32
Fiorinal	40
Migramal	1

Fuente: Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7.

La cafeína se absorbe para alcanzar el pico plasmático en el transcurso de 30 a 90 minutos y su vida media de eliminación es de unas cinco horas. La cafeína es metabolizada por el sistema citocromo P-450 (CYP) oxidasa a una variedad de metabolitos de la xantina, con aproximadamente uno a tres por ciento excretado en la orina como cafeína libre. El consumo habitual de cafeína también influye en el metabolismo al regular a la baja muchos de los efectos fisiológicos (taquifilaxia). Por ejemplo, varios días de consumo habitual de cafeína atenuaron el aumento de la frecuencia cardíaca o la presión arterial inducido por la ingestión (Robertson, Wade, Workman, Woosley y Oates, 1981); y, en las mujeres, se atenuaron los efectos lipolíticos durante el ejercicio (Fisher, McMurray, Berry, Mar y Forsythe, 1986). En contraste con los datos anteriores, los efectos ergogénicos de la cafeína son similares tanto en los consumidores habituales como en los no habituales (Van Soeren, Sathasivam, Spriet y Graham, 1993).

Los primeros estudios realizados en la década de 1970 demostraron que la administración de cafeína (aproximadamente 5 mg/kg) mejoró el desempeño del ciclo de resistencia (Costill, Dalsky y Fink, 1978; Ivy, Costill, Fink y Lower, 1979). Posteriormente, muchos estudios de laboratorio han demostrado una mayor salida de potencia durante un período determinado o un mayor tiempo para llegar al agotamiento. Una gran cantidad de estudios también ha encontrado mejoras en el desempeño específico de los deportes de resistencia, como el pedestrismo, el esquí de fondo y el ciclismo. «La gran mayoría de estos estudios ha usado dosis de cafeína en el rango de 3 a 6 mg/kg tomadas aproximadamente una hora antes del ejercicio. Más recientemente, los estudios han informado que dosis mucho más bajas de cafeína (de 1,0 a 2,0 mg/kg), especialmente cuando se consumen más tarde durante una tarea de ejercicio de resistencia, han mejorado el desempeño» (Cox y cols. 2002, https://bit.ly/2RG3P0b)

«Un metaanálisis reciente, que incluyó cuarenta y seis estudios, concluyó que la cafeína tiene un efecto pequeño pero evidente en el desempeño de la resistencia cuando se toma en dosis moderadas (de 3 a 6 mg/kg). Además de una mejora general después de la cafeína en comparación con el placebo en la producción de potencia media (3,03 ± 3,07 %; tamaño del efecto = 0,23 ± 0,15) y el tiempo de finalización de prueba de contrarreloj (2,22 ± 2,59 %; tamaño del efecto = 0,41 ± 0,2)» (Southward, Rutherfurd-Markwick y Ali, 2018, https://bit.ly/2sgMSv7). Otro metaanálisis reciente también sugirió que la cafeína podría ser más efectiva si la duración del ejercicio es más larga. (Shen, Brooks, Cincotta y Manjourides, 2018)

Las pruebas que determinen la existencia de un efecto ergogénico de la cafeína en el desempeño de alta intensidad no son tan sólidas cuando analizamos los datos de las tareas de resistencia. Varios estudios no han encontrado mejoría alguna en el desempeño del sprint máximo de treinta segundos en el ciclismo con la administración de cafeína. Las pruebas sobre la fuerza en un solo esfuerzo o las maniobras de potencia también son diversas. Sin embargo, un metaanálisis reciente concluyó que «con base en las pruebas actuales, parece que la cafeína aumenta tanto la fuerza máxima como la resistencia muscular, y la potencia parece mejorar con la suplementación con cafeína» (Grgic, Mikulic, Schoenfeld, Bishop y Pedisic, 2018, https://bit.ly/2CbNira). Los autores también señalaron que este efecto podría, en cierta medida, depender de la dosis de cafeína y de la carga externa.

Los mecanismos

> Las pruebas actuales indican que la cafeína actúa en su rol como un antagonista del receptor de adenosín. Los receptores de adenosín están ampliamente presentes en el tejido humano, incluidos el cerebro, el músculo esquelético y el tejido adiposo. El antagonismo del adenosín en los adipocitos conduce claramente a un aumento de la lipólisis y un aumento en la concentración plasmática de ácidos grasos libres (AGL). En consecuencia, los estudios «clásicos» que evaluaron el potencial ergogénico de la cafeína consideraron que el hallazgo de una proporción de intercambio respiratorio más baja durante el ejercicio de resistencia indicaba que la cafeína estaba aumentando la concentración plasmática de AGL, la captación muscular y la oxidación de grasa, y que esto conducía a un ahorro de glucógeno intramuscular a través del efecto Randle (Costill et al., 1978). Esta hipótesis se mantuvo durante más de una década con una modificación posterior que indicaba que el ahorro se producía principalmente en la transición temprana de descanso a ejercicio; sin embargo, desde entonces los estudios no han mostrado pruebas de un ahorro de glucógeno después del ejercicio de resistencia a largo plazo (Graham, Battram, Dela, El-Sohemy y Thong, 2008). El aumento en los AGL plasmáticos observado consistentemente en reposo se debe al efecto adrenérgico (epinefrina, norepinefrina) sobre la lipólisis de los adipocitos; sin embargo, el efecto adrenérgico del ejercicio anula este efecto. (Graham, Battram, Dela, El-Sohemy y Thong, 2008, https://bit.ly/2Qw4FYV)

Esta explicación original sobre los efectos en el desempeño de la resistencia ahora se ha reemplazado con la visión de que los efectos de la cafeína en el desempeño residen en el cerebro.

> Actualmente, se acepta que la mayoría de los efectos de la cafeína que mejoran el desempeño se logran a través del antagonismo de los receptores de adenosín, lo cual influye en el sistema dopaminérgico y otros sistemas de neurotransmisores. El adenosín y la dopamina interactúan en el cerebro, y este podría ser un mecanismo para explicar cómo los componentes importantes de la motivación (es decir, el vigor, la persistencia y el resultado del trabajo) y los procesos cerebrales de orden superior están involucrados en el control motor (Meeusen, Roelands y Spriet, 2013). La cafeína mantiene una mayor concentración de dopamina, especialmente en aquellas áreas del cerebro relacionadas con la «atención». A través de esta interacción neuroquímica, la cafeína mejora la atención sostenida, la vigilancia y reduce los síntomas de fatiga (Meeusen et al., 2013). Otros aspectos que se localizan en el sistema nervioso central son la reducción del dolor en el músculo esquelético y la sensación de fuerza, lo que lleva a una reducción en la percepción del esfuerzo durante el ejercicio y, por lo tanto, influye en los factores motivacionales para mantener el esfuerzo durante el ejercicio. (Meeusen y cols. 2013, https://bit.ly/2HfXapJ).

A nivel muscular, la cafeína puede tener efectos adicionales sobre la contracción muscular. La cafeína puede potenciar la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico y puede aumentar la excitabilidad muscular.

> Hubo un aumento de la producción de fuerza en humanos durante la estimulación muscular eléctrica de baja frecuencia con cafeína, y hemos sugerido que este efecto se debió a una mayor liberación de calcio desde el

retículo sarcoplásmico (Tarnopolsky y Cupido, 2000). Se demostró que la administración aguda de cafeína (5 mg/kg) aumentó la fuerza muscular de baja frecuencia (20 Hz, con una simulación del ejercicio de resistencia) estimulada eléctricamente durante un protocolo de fatiga (Tarnopolsky y Cupido, 2000).

También hay estudios que sugieren que la cafeína puede mejorar los elementos de desempeño físicos, técnicos y basados en habilidades que son habituales en los partidos de fútbol. Por ejemplo, la cafeína puede mejorar el desempeño en los sprints y los saltos repetidos, la agilidad reactiva y la precisión de los pases durante los protocolos de ejercicio de tipo intermitente (Duvnjak-Zaknich, Dawson, Wallman y Henry, 2011; Foskett, Ali y Gant, 2009; Gant, Stinear y Byblow, 2010) (Morton, 2014, https://bit.ly/2Fe2oAc).

Por lo general, estas mediciones del desempeño de la destreza tienen más variabilidad que otras mediciones del desempeño. Esto, conjuntamente con tamaños de muestra relativamente pequeños, es probablemente la razón por la cual los resultados de varios estudios parecen ser mixtos. Por ejemplo, en algunos estudios, los efectos se encuentran en la agilidad, pero no en el desempeño en el sprint repetido y, en otros estudios, puede ser lo contrario. Sin embargo, en general, parece que muchos aspectos del desempeño en el fútbol pueden mejorarse con la cafeína. Un metaanálisis reciente concluyó que la ingesta previa al ejercicio de una dosis moderada de cafeína (de 3 a 6 mg/kg) dio como resultado mejoras pequeñas/triviales, pero estadísticamente significativas, en el desempeño en el salto, el desempeño en el sprint, la agilidad y el desempeño de la resistencia específico del deporte de equipo. Al mismo tiempo, aumentó la distancia de carrera y la distancia de carrera con sprints durante los partidos de deportes de equipo (Salinero, Lara y Del Coso, 2018).

Suministro de cafeína

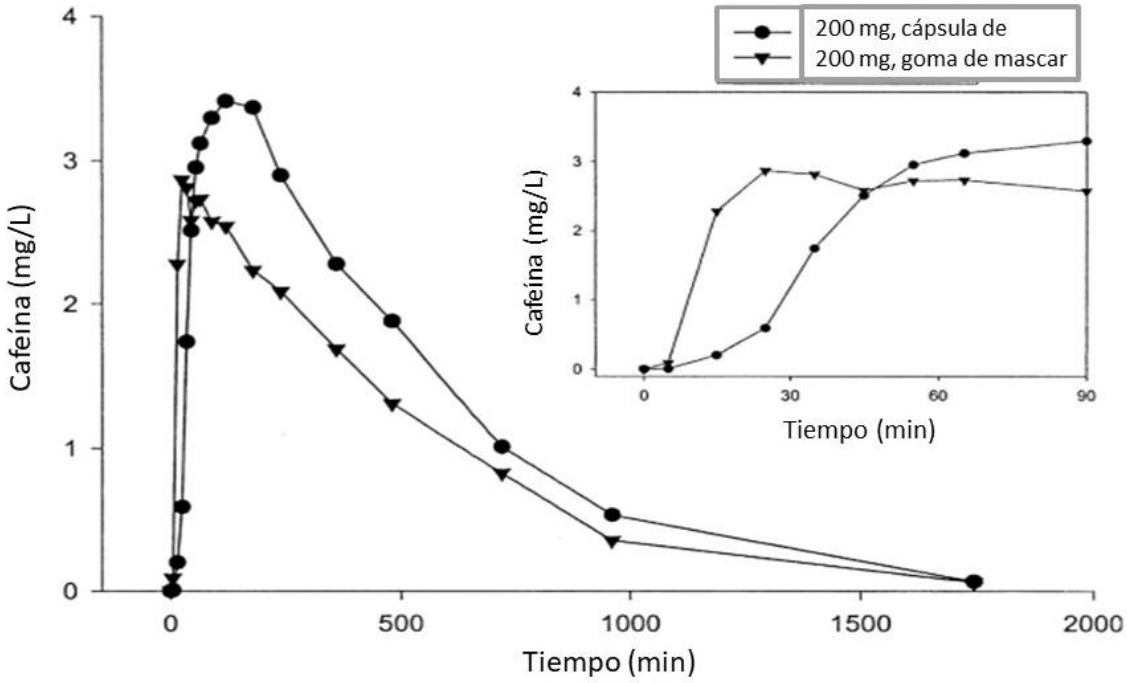
La siguiente sección discutirá los aspectos prácticos del suministro de cafeína. Los efectos ergogénicos de la cafeína se logran habitualmente con la ingestión de 2 a 6 mg/kg de peso corporal. La dosis preferida o la mejor deberá determinarse individualmente porque la eficacia puede variar entre los individuos (esto se discute en una sección sobre nutrición personalizada y el rol del genoma), pero también porque los efectos secundarios pueden ser diferentes (ver más abajo).

Tradicionalmente, la cafeína se administra en forma de píldora o cápsula o mediante la ingesta de café, pero cada vez se encuentran más productos nutricionales específicos para los deportes. En los días de partido, se suelen consumir estos productos deportivos con cafeína, pero, en los días de entrenamiento, también se puede consumir cafeína en forma de té o café con el desayuno o en una comida antes del entrenamiento. Las pruebas recientes han demostrado que la ingesta de café antes del ejercicio genera beneficios de desempeño similares a los de la ingesta de cafeína anhidra en forma de píldora o cápsula (Hodgson, Randell y Jeukendrup, 2013). Dado que los niveles plasmáticos de cafeína alcanzan su nivel máximo aproximadamente de 45 a 90 minutos después de la ingestión, se recomienda consumir bebidas con cafeína, cápsulas o geles (según las preferencias de los jugadores) antes del período de calentamiento, es decir, de 45 a 90 minutos antes del inicio.

Otra forma en que se puede administrar la cafeína es a través de una goma de mascar. Este mecanismo de administración fue desarrollado por los militares, que querían una

forma de administrar la cafeína más rápido. La cafeína se puede absorber mucho más rápido a través de la mucosa bucal (Figura 1). Cuando se absorbe a través del intestino, generalmente hay un tiempo de retraso de 20 a 30 minutos antes de que se absorban cantidades significativas de cafeína. Con una goma (o pastillas), la absorción es instantánea.

Figura 1: Media de los perfiles de concentración plasmática de cafeína después de una dosis de cafeína de 50, 100 o 200 mg, administrada en forma de cápsula o de goma de mascar a voluntarios varones sanos (12 sujetos en cada uno de los siete grupos de tratamiento)



Fuente: Wickham y Spriet, 2018, https://goo.gl/VjFaLs

Los estudios con gomas de mascar que contienen cafeína muestran resultados mixtos, pero, en general, los efectos son positivos en los estudios que han administrado una dosis más alta, han permitido un tiempo de absorción suficiente y han medido un desempeño de mayor duración (> 30 minutos). Por ejemplo, Lane y cols. (2014) demostraron que la goma de mascar con cafeína mejoró el desempeño de la prueba de contrarreloj en un 3 a 4 % cuando se ingirió un total de 3 mg/kg de cafeína. En otro estudio, se ingirieron 50 mg de cafeína justo antes de una prueba de contrarreloj de aproximadamente 30 minutos (y cada 8 minutos a partir de entonces); no se observó ningún efecto (Oberlin-Brown, Siegel, Kilding y Laursen, 2016). Los estudios también han sugerido que los enjuagues bucales simples con una solución que contiene cafeína pueden mejorar el desempeño del ejercicio con rondas repetidas, de corta duración y de alta intensidad (Wickham y Spriet, 2018).

Los aerosoles nasales y bucales con cafeína se están volviendo muy populares. Se sugiere que estos aerosoles estimulan los nervios con conexiones cerebrales directas y pueden

aumentar las concentraciones de cafeína en la sangre a través de la absorción mucosa y pulmonar. Sin embargo, hay pocos estudios y pocas pruebas para apoyar estos mecanismos de entrega en este momento (Wickham y Spriet, 2018).

Si la cafeína se administra en forma de una cápsula, una pastilla, un café, un producto de nutrición deportiva u otra forma de alimento, generalmente se recomienda tomar la dosis de cafeína entre 45 y 60 minutos antes de la actividad. Si se usa goma de mascar con cafeína, la cafeína llegará a la sangre mucho más rápido y, por lo tanto, se puede usar dentro de los 15 minutos anteriores al partido o durante el calentamiento.

Efectos secundarios

Aunque en promedio la cafeína es claramente ergogénica, no todos los individuos muestran mejoras en el desempeño después de una ingesta aguda de cafeína. Las dosis más altas (> 6 mg/kg de masa corporal [MC]) pueden causar síntomas negativos en algunos individuos, como aumento de la frecuencia cardíaca, irritabilidad, temblores, confusión, disminución de la concentración, falta de aliento, etc. El consumo de altas dosis de cafeína antes o durante los juegos nocturnos también puede ser problemático, dado que puede afectar negativamente la calidad del sueño.

Por lo tanto, es altamente recomendable que los jugadores experimenten con cafeína en las sesiones de entrenamiento para calcular la dosis óptima para ellos. Comiencen en el entrenamiento con una dosis baja y supervisen la percepción. Luego, en la siguiente sesión de entrenamiento, aumenten la dosis y continúen controlando la percepción del esfuerzo. Repitan esto hasta que hayan encontrado una dosis con la que el jugador se sienta más cómodo. Monitoricen la frecuencia cardíaca, si es posible. En los días de partido, reduzcan ligeramente la dosis, ya que es probable que el aumento de la ansiedad del día del partido altere las respuestas fisiológicas.

4.1.2 Creatina

La creatina se convirtió en un suplemento popular después de los Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona. Los ganadores de la medalla de oro, Linford Christie, en la competencia masculina de pique de 100 m, y Sally Gunnell, en la competencia femenina de 400 m de obstáculos, supuestamente usaron suplementos de creatina. Para los Juegos Olímpicos en Atlanta en 1996, aproximadamente el 80 % de todos los deportistas usaban creatina (Williams y cols. 1999). El consumo mundial de creatina por parte de los deportistas se estima en alrededor de 3 000 000 kg/año. Esta sección discute la eficacia de la creatina en diferentes deportes y los supuestos mecanismos de acción. Para obtener más detalles sobre el rol de la creatina en el metabolismo y el desempeño, consulte Casey y Greenhaff (Casey y cols. 2000), Greenhaff (1998) y Terjung y cols. (2000).

En el cuerpo

La creatina (metilguanidina-ácido acético) es un compuesto que existe en forma natural principalmente en el tejido muscular. No es un nutriente esencial, ya que se puede sintetizar dentro del cuerpo humano. En personas normales y sanas, la dieta y la ingestión oral juntas proporcionan aproximadamente 2 g por día de creatina. Al mismo tiempo y aproximadamente con la misma tasa (2 g/día), la creatina se descompone en creatinina y se excreta en la orina. Alrededor de dos tercios de la creatina

intramuscular es fosfocreatina (PCr) y el resto es creatina libre. El grupo total de creatina (PCr + Cr) en el músculo tiene un promedio de aproximadamente 120 mmol/kg de masa muscular seca para un individuo de 70 kg y el límite superior del almacenamiento de creatina parece ser de aproximadamente 160 mmol/kg de masa muscular seca.

Las fuentes alimentarias primarias de creatina son el pescado y la carne roja. Las dietas vegetarianas y veganas estrictas son deficientes en creatina, ya que las plantas solo contienen cantidades ínfimas. Dependen, por lo tanto, de la síntesis endógena de creatina.

En un hombre de 70 kg, el grupo de creatina total del organismo es de aproximadamente 120 g, el 95 % del cual está en el músculo (músculo esquelético, cardíaco y liso). El 5 % restante se encuentra en el cerebro, el hígado, los riñones y los testículos. La sangre transporta la creatina sintetizada en el hígado y el riñón (y que se absorbe de las comidas) al músculo. El músculo absorbe la creatina contra un gradiente de concentración mediante un proceso de transporte activo saturable que depende del sodio. En la célula muscular, la creatina se fosforila, después de lo cual queda atrapada dentro del músculo. Las fibras musculares tipo I y tipo II tienen diferente contenido de creatina; las fibras tipo II tienen aproximadamente un 30 % más de creatina que las fibras tipo I. (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Proceso metabólico

La PCr sirve para regenerar el ATP. A medida que los músculos se contraen, el adenosintrifosfato (ATP) se degrada a adenosín difosfato (ADP) y fosfato inorgánico (Pi) para proporcionar energía:

ATP → ADP + Pi + energía

Las reservas de ATP son muy pequeñas y durante el ejercicio intenso máximo podrían proporcionar energía solo de 1 a 2 segundos. Cuando la concentración de ATP en todo el músculo cae y alcanza niveles de alrededor del 30 %, el músculo se fatiga (Hultman, Greenhaff, Ren y Soderlund, 1991; Karlsson y Saltin, 1970). Para prevenir la fatiga, la regeneración de ATP debe realizarse a una tasa similar a la de la hidrólisis de ATP para mantener las concentraciones de ATP cercanas a las normales (en reposo). Una función importante de la PCr en el músculo es proporcionar el grupo de fosfato de alta energía para la regeneración de ATP durante los primeros segundos del ejercicio de alta intensidad. Esto permitirá que aumente la velocidad de la descomposición del glucógeno y la glucólisis (el otro proceso principal que genera ATP citosólico durante el ejercicio de alta intensidad) hasta la tasa necesaria. La transferencia del grupo fosfato de la fosfocreatina al adenosín difosfato (ADP) es catalizada por la enzima creatina quinasa, lo que provoca la regeneración de ATP y la liberación de creatina libre:

Fosfocreatina (PCr) + ADP + H^+ → Creatina (Cr) + ATP

La PCr está presente en el músculo en reposo en una concentración que es de tres a cuatro veces mayor que la de ATP. Durante el sprint de 100 m, se estima que se descomponen 22 g de ATP por segundo, o aproximadamente el 50 % del contenido de ATP por kilogramo de músculo activo (A. E. Jeukendrup y Gleeson, 2018). Debido a que la fatiga se produce en el

músculo humano cuando la concentración de ATP en todo el músculo disminuye en aproximadamente un 30 %, es evidente la necesidad de que el ADP se forme durante la contracción.

La degradación anaeróbica de la PCr y el glucógeno es responsable de la tasa extremadamente alta de resíntesis de ATP durante los primeros segundos de ejercicio de alta intensidad (Hultman et al., 1991; Karlsson y Saltin, 1970). Sin embargo, la reserva de PCr en el músculo es limitada y se agota en unos 5 segundos de ejercicio de intensidad supramáxima. De esta manera, la concentración de ATP del músculo esquelético se mantiene hasta un cierto punto durante rondas únicas o rondas repetidas de ejercicio de intensidad supramáxima. Sin embargo, la resíntesis anaeróbica de ATP no se puede mantener al mismo ritmo que durante los primeros segundos de ejercicio de intensidad supramáxima. En consecuencia, en el transcurso de 30 segundos, las tasas de renovación de ATP se reducen en un 20 %. Las altas reservas de PCr posiblemente reduzcan la necesidad de la glucólisis anaeróbica y la formación de ácido láctico durante el ejercicio intenso, lo que podría ser otro beneficio potencial de la suplementación con creatina.

Otra función importante de la creatina es su capacidad amortiguadora potencial de los iones de hidrógeno, ya que esos iones se utilizan durante la regeneración de ATP, como se muestra en la ecuación anterior. Una mayor concentración de creatina en el músculo también implica un aumento del flujo a través de la reacción de la creatina quinasa, lo que genera un aumento de la síntesis de PCr durante la recuperación del ejercicio de alta intensidad. Los roles de la creatina enumerados anteriormente sugieren que elevar la creatina muscular y las reservas de PCr beneficiará el desempeño en el ejercicio de alta intensidad.

Suplementación

Harris, Soderlund y Hultman (1992) fueron los primeros en afirmar que ingerir monohidrato de creatina podía aumentar las reservas totales de creatina muscular (creatina y fosfocreatina). En ese estudio, la ingesta de 5 g de creatina de cuatro a seis veces al día durante varios días aumentó la concentración total de creatina en un promedio de 25 mmol/kg de peso en seco, y el 30 % del aumento en el contenido total de creatina fue en forma de fosfocreatina. El primer estudio de desempeño fue realizado por Greenhaff y cols. (1993). Los sujetos ingirieron 20 g/día de creatina durante 5 días y, efectivamente, la creatina mejoró el desempeño en aproximadamente un 6 % durante rondas repetidas de ejercicios de extensión de rodilla de máxima intensidad. Después de ese estudio, se realizaron muchos más, que investigaron diferentes modos de ejercicio, pero que confirmaron en gran medida los primeros resultados. Los resultados de múltiples estudios se resumen en varias revisiones (Bird, 2003; Kreider, 2003). Aquí nos centraremos principalmente en el desempeño en el sprint repetido, las adaptaciones al entrenamiento de fuerza y el desempeño cognitivo, ya que estas son áreas altamente relevantes para el fútbol. Sin embargo, la creatina también se ha estudiado en relación con las lesiones, las conmociones cerebrales y la recuperación.

La gran mayoría de los estudios que han evaluado la eficacia de la suplementación con creatina en los niveles de fosfágeno muscular, la retención de creatina en todo el organismo o el desempeño han evaluado el monohidrato de creatina. «Las afirmaciones que indican que las diferentes formas de creatina se degradan en menor grado que el monohidrato de creatina *in vivo* o dan lugar a una mayor captación en el músculo actualmente carecen de fundamento. Las pruebas clínicas no han demostrado que las diferentes formas de creatina, tales como el citrato de creatina, el suero de creatina, el

éster etílico de creatina, las formas de creatina amortiguadas o el nitrato de creatina, promuevan una mayor retención de creatina que el monohidrato de creatina». (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

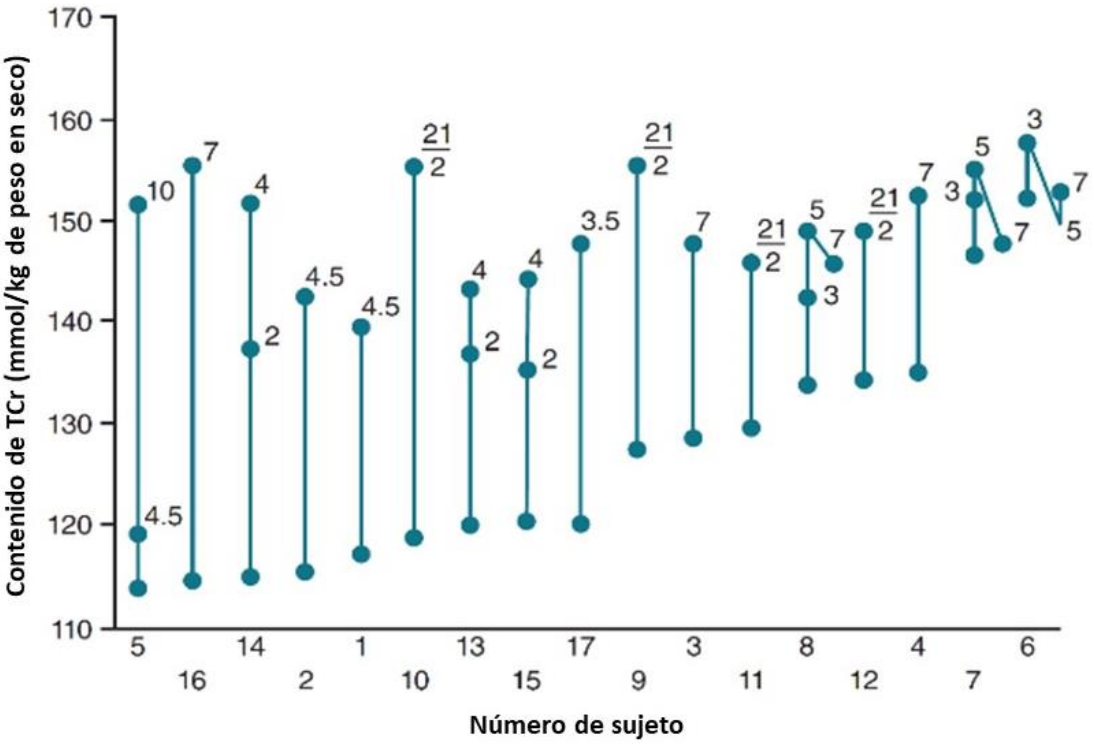
Regímenes de carga

El régimen habitual de carga de creatina es de 4 x 5 g/día, cada uno administrado en diferentes momentos del día por un período de 6 días. Los primeros estudios demostraron que esto es efectivo y aumenta la concentración de creatina muscular en aproximadamente 25 mmol/kg de masa seca. Dicho aumento corresponde a aproximadamente el 20 % de la concentración basal total de creatina muscular de aproximadamente 125 mmol/kg de masa seca. Hultman, Soderlund, Timmons, Cederblad y Greenhaff (1996) observaron que después de esta fase de carga inicial de 20 g/día durante 6 días, una dosis de mantenimiento de 2 g/día era suficiente para mantener la alta concentración total de creatina durante 35 días. La interrupción de la suplementación con creatina causó una disminución lenta y gradual de la concentración de creatina en el músculo. Las investigaciones han demostrado que, una vez que se elevan las reservas de creatina en el músculo, generalmente toma de 4 a 6 semanas para que las reservas de creatina vuelvan a la línea de base.

No es estrictamente necesario utilizar una fase de carga de 6 días. Cuando se ingirió creatina a una dosis menor de 3 g/día, la tasa de aumento de la creatina muscular fue menor, pero después de 28 días se alcanzó la misma concentración total de creatina. Por lo tanto, se recomienda una dosis de carga de 20 g/día durante 6 días, seguida de una dosis de mantenimiento de 2 a 3 g/día si los deportistas desean aumentar la creatina muscular a niveles máximos rápidamente, mientras que una dosis continua de 3 g/día conduce al mismo nivel máximo en aproximadamente 1 mes. El aumento en la concentración de PCr muscular fue de alrededor del 40 % del aumento en la concentración de creatina total con ambos procedimientos.

Existe una variación considerable entre sujetos en la concentración total de creatina muscular inicial (Figura 2). Las razones de la variación no se conocen del todo, pero pueden estar relacionadas, al menos en parte, con la dieta habitual de los deportistas vegetarianos/veganos que se encuentran generalmente en los rangos más bajos. El mayor aumento en la concentración de creatina muscular se observa en personas con la concentración inicial más baja, mientras que aquellos que ya tienen altas concentraciones de creatina se benefician solo ligeramente de la masa seca (Harris et al., 1992). Una concentración de 160 mmol/kg de masa seca parece ser la concentración máxima de creatina que se puede lograr con la suplementación con creatina, pero solo alrededor del 20 % de los sujetos alcanzó este nivel después de la suplementación con creatina.

Figura 2: Respuestas individuales a la carga de creatina

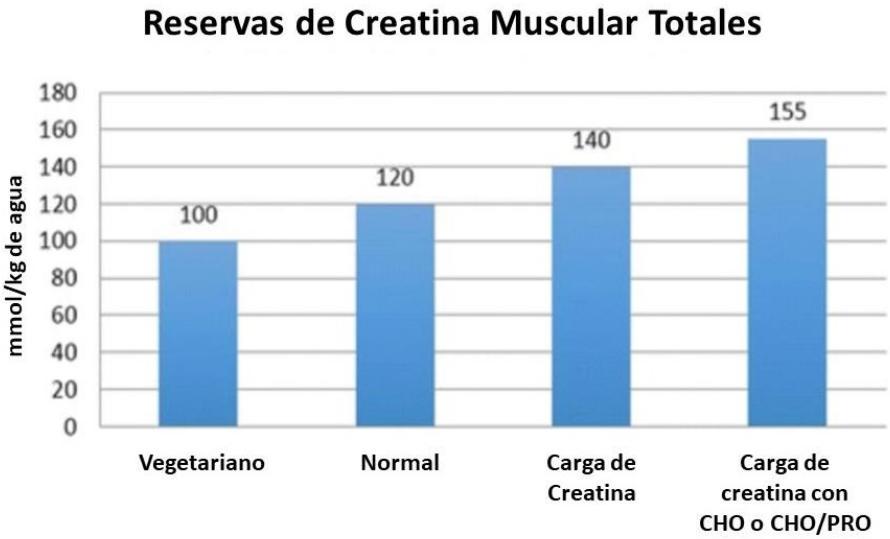


Fuente: Hultman, Soderlund, Timmons, Cederblad y Greenhaff, 1996, https://bit.ly/2FkTb8t

Las personas con bajas reservas de creatina son las que más se benefician, mientras que las que ya tienen altas reservas de creatina tienen un aumento mínimo de la creatina muscular. Los números en el gráfico son los días de suplementación a una tasa de 20 a 30 g/día. 21/2 indica los sujetos que ingirieron creatina en días alternos durante 21 días. Datos de Hultman et al. (1996).

La creatina muscular total puede incrementar más (aumento promedio de 30 a 40 mmol/kg de peso en seco) cuando la creatina (20 g/día durante 5 días) se ingiere en una solución con carbohidratos simples (Green, Sewell, Simpson, Hultman y Greenhaff, 1995; Green, Simpson, Littlewood, MacDonald y Greenhaff, 1996) (Figura 3). La ingesta de carbohidratos puede aumentar las concentraciones de insulina, lo que a su vez parece aumentar la captación de creatina muscular. Se cree que la insulina estimula la actividad de bombeo de sodio-potasio y esto aumenta el transporte de creatina muscular dependiente del sodio. (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Figura 3: Las reservas de creatina muscular varían, pero pueden aumentar con la carga de creatina y la ingestión conjunta con carbohidratos



Fuente: Kreider et al., 2017, https://bit.ly/2TESomD.

Casey, Constantin-Teodosiu, Howell, Hultman y Greenhaff (1996) mostraron una correlación entre los aumentos de la creatina en el músculo y el desempeño. En otras palabras, las personas que mostraron los mayores incrementos en la concentración total de creatina muscular también mostraron el mayor beneficio en el desempeño. Se cree que es necesario un cambio en el contenido de creatina muscular de aproximadamente 20 mmol/kg de masa seca antes de que se observen cambios significativos en el desempeño. En realidad, alrededor del 30 % de todos los individuos no mostrarán aumentos tan grandes en la creatina muscular (quizás porque sus concentraciones iniciales ya son altas) y, por lo tanto, no se benefician. Desafortunadamente, no hay una manera fácil de averiguar si alguien responde o no responde, y el método común para averiguarlo es el ensayo y error.

Aumento de peso

La suplementación con creatina (20 g/día durante 5 a 6 días) generalmente se acompaña de aumentos en el peso corporal de alrededor de 1 kg. Sin embargo, existe una considerable variación interindividual y se han informado aumentos de peso de entre 0,5 y 3,5 kg.

> Teóricamente, este aumento en la masa corporal y el posible cambio en la composición corporal son el resultado de aumentos en el agua intracelular, la estimulación de la síntesis de proteínas o una disminución en la descomposición de las proteínas. Debido a que la disminución en la producción de orina coincidió exactamente con el curso del tiempo del aumento en la concentración de creatina muscular, la creatina probablemente causa retención de agua en las células del músculo esquelético debido a un aumento de la osmolaridad intracelular de las fibras musculares. Las pruebas sugieren que parte del aumento de peso puede atribuirse al efecto anabólico de la creatina, aunque en el corto plazo (de 5 a 6 días) este efecto probablemente no sea un factor importante.(Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Ejercicio de alta intensidad

Greenhaff y cols. (1993) fueron de los primeros en demostrar los efectos positivos de la creatina en el ejercicio intermitente de alta intensidad. Estos hallazgos han sido repetidos por muchos otros investigadores mediante varios modelos experimentales. La mayoría de estos estudios informaron mejoras en la fuerza, la producción de fuerza o la torsión.

Balsom, Ekblom, Soderlund, Sjodin, and Hultman (1993) designó al azar 16 sujetos entrenados a un grupo de creatina (25 g/día durante 6 días) y un grupo de placebo. «Una de las pruebas que realizaron estos sujetos fue una prueba de sprint repetido, en la que realizaron sprints 10 veces durante 6 segundos con 30 segundos de recuperación entre rondas. Aunque los sujetos mostraron fatiga con la creatina y el placebo, después de 7 sprints, la fatiga fue significativamente mayor en el grupo de placebo». (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

«Mujika y cols. realizaron pruebas con futbolistas y concluyeron que la suplementación con creatina aguda afectó favorablemente el desempeño en el sprint repetido y limitó la disminución de la habilidad de salto con fatiga en futbolistas altamente entrenados» (Mujika, Padilla, Ibanez, Izquierdo y Gorostiaga, 2001).

Entrenamiento resistido

«Vandenberghe y cols. (1997, https://bit.ly/2FhOSvl) investigaron el «efecto de la carga de creatina en la concentración de PCr muscular, la fuerza muscular y la composición corporal después de un programa de entrenamiento/resistencia de 10 semanas. En comparación con el placebo, la fuerza máxima de los grupos musculares entrenados aumentó de 20 % a 25 % más, la capacidad máxima de ejercicio intermitente de los flexores del brazo aumentó de 10 % a 25 % más, y la masa libre de grasa aumentó en un 60 % más con la suplementación con creatina».

Este estudio y otros sugieren que la combinación de la ingesta de creatina y el entrenamiento de fuerza es más efectiva que el entrenamiento de fuerza solo. Se ha sugerido que la suplementación con creatina permite más repeticiones y, por lo tanto, una mejor calidad de entrenamiento y, al mismo tiempo, puede tener un efecto anabólico (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

La creatina causa retención de líquidos, lo que puede generar una inflamación de las células musculares. La hinchazón celular actúa como una señal anabólica universal, al causar un aumento de la síntesis de proteínas y la deposición neta de proteínas (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

> Es poco probable que la creatina mejore la respuesta adaptativa al ejercicio a través de efectos directos sobre la síntesis de proteínas musculares o la degradación de las proteínas musculares (Louis, Poortmans, Francaux, Berre, et al., 2003; Louis, Poortmans, Francaux, Hultman, et al., 2003), aunque Parise, Mihic, MacLennan, Yarasheski, and Tarnopolsky (2001) informaron que la creatina disminuyó la tasa de aparición de la leucina en plasma y la oxidación de leucina. Sin embargo, parece que la creatina podría mejorar la respuesta adaptativa al modular la expresión incrementada de los factores de crecimiento (por ejemplo, miogenina, MRF-4, factor de crecimiento insulínico I y II [IGF-I e IGF-II] (Burke et al., 2008; Deldicque et al., 2005). También se ha informado que la suplementación con

creatina en combinación con el entrenamiento resistido aumenta el número de células satélite y la concentración de mionúcleos más que el entrenamiento resistencia solo(Olsen et al., 2006). Aumentar el contenido de creatina muscular a través de la suplementación aumenta la expresión de una serie de genes asociados con procesos de adaptación, incluidos los siguientes: Translocación de GLUT4, osmosensación, remodelación del citoesqueleto, síntesis de glucógeno, síntesis de proteínas, proliferación y diferenciación de células satélite, replicación y reparación de ADN, procesamiento y transcripción de ARNm, y supervivencia celular (Safdar, Yardley, Snow, Melov y Tarnopolsky, 2008). (Rawson y cols. 2017, https://bit.ly/2SQbYg4).

Aunque esto no significa necesariamente que la síntesis de proteínas se vea afectada, estas observaciones sugerirían que la creatina apoya las adaptaciones al entrenamiento.

Pero los efectos no se limitan a los músculos. También se almacena una pequeña cantidad de creatina en el cerebro, donde se utiliza para la producción de ATP. La creatina cerebral puede aumentar en aproximadamente un 10 % con la suplementación con creatina, y esto se ha relacionado con mejoras en el procesamiento cognitivo (Gualano, Rawson, Candow y Chilibeck, 2016). La mayoría de los estudios demuestran una mejora en el procesamiento cognitivo después de la suplementación con creatina, pero se han realizado pocos estudios en un entorno deportivo. Por lo tanto, todavía es un poco prematura la traducción a los deportistas y el rendimiento deportivo. «Un grupo comparó los efectos de la ingestión aguda de creatina, cafeína o placebo en una prueba de destrezas de pases en el rugby en 10 jugadores de rugby profesional con falta de sueño (Cook, Crewther, Kilduff, Drawer y Gaviglio, 2011). Tanto la creatina como la cafeína atenuaron la disminución en el desempeño de las destrezas causada por la falta de sueño» (Rawson y cols. 2017, https://bit.ly/2SQbYg4) Es posible que la creatina desempeñe un rol en la mejora del desempeño deportivo a través de mecanismos centrales, pero se requieren más estudios.

Mecanismos de acción

Se han propuesto varios mecanismos a través de los cuales la creatina ejerce su efecto:

- La explicación más obvia es una mayor disponibilidad de PCr, particularmente en las fibras musculares tipo II. Las pruebas indican que el aumento de las reservas de PCr en el músculo mejora la función contráctil al mantener la renovación de ATP.
- Otro posible mecanismo es el aumento de la tasa de resíntesis de PCr (Greenhaff y cols., 1994), que es particularmente importante en períodos de recuperación cortos durante rondas repetidas de ejercicio máximo.
- El uso incrementado de PCr como fuente de energía podría reducir la glucólisis anaeróbica y la formación de ácido láctico. Teóricamente, esta actividad podría reducir la formación de iones de hidrógeno en el músculo y retrasar la fatiga causada por el aumento de la acidez muscular.
- La creatina podría amortiguar algunos de los iones de hidrógeno producidos durante el ejercicio de alta intensidad. Este proceso retrasaría la fatiga en el ejercicio de alta intensidad, que está limitado por la formación de ácido láctico.
- La creatina también desempeña un papel importante en el transporte de fosfatos de alta energía de las mitocondrias (sitio de producción de ATP) a las miofibrillas (sitio de descomposición de ATP). Este rol de la creatina se sugirió como un mecanismo potencial para mejorar el desempeño en actividades de resistencia. Pero estos tipos de actividades no se ven afectados por la suplementación con creatina, lo que sugiere que este mecanismo puede no ser importante.
- La creatina puede tener propiedades anabólicas.

Seguridad

Ningún estudio ha informado efectos perjudiciales para la salud de la creatina. Sin embargo, de acuerdo con numerosos informes anecdóticos, la suplementación con creatina causa dolencias; problemas gastrointestinales, cardiovasculares y musculares; náuseas, vómitos y diarrea; alteraciones en la función renal y hepática; calambres musculares y presión arterial elevada. Como se señaló en una mesa redonda del Colegio Americano de Medicina del Deporte, «las pruebas no son definitivas o están incompletas para denunciar la práctica de la suplementación con creatina como un riesgo para la salud; al mismo tiempo, nuestra falta de información no puede tomarse como una garantía de que la suplementación con creatina está libre de riesgos para la salud. La ignorancia proporciona poco alivio con respecto a los efectos adversos que aún no se han descubierto».
Probablemente sea una buena idea administrar la creatina en ciclos y tener períodos de suplementación con creatina seguidos de períodos sin suplementación. Esto también permitirá mantener la síntesis endógena. Esto debe ser parte de un plan de nutrición periodizado como lo discutiremos en otra parte.

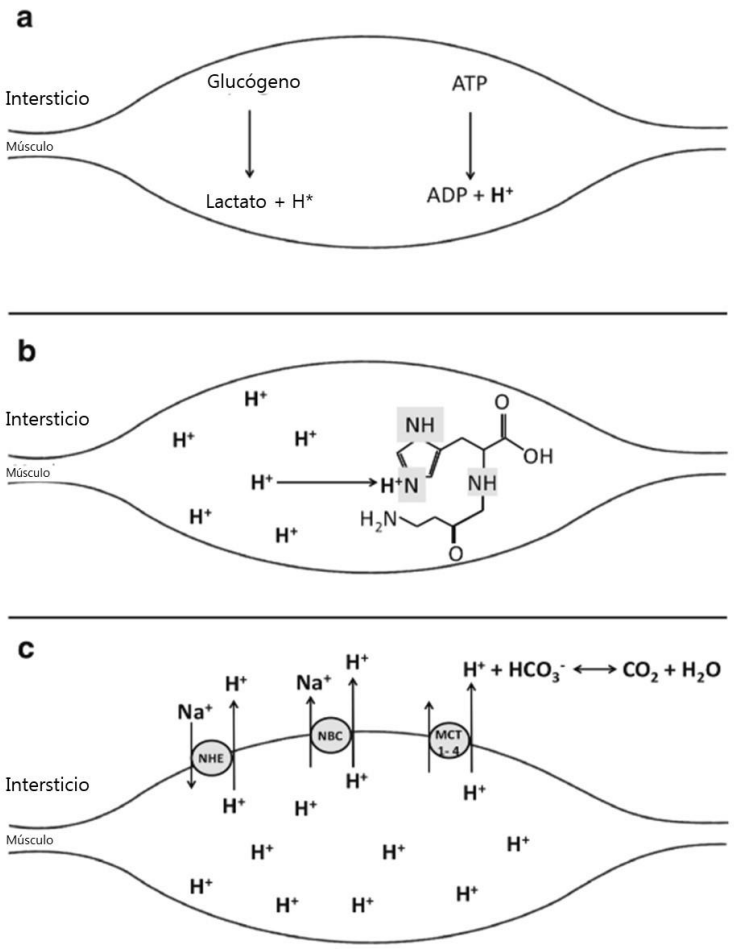
4.1.3 Beta-alanina y carnosina

Durante el ejercicio intenso, el aumento de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) se amortigua mediante mecanismos de amortiguación intra y extramusculares. El bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) (que veremos más adelante) es un ejemplo de amortiguación extracelular. El dipéptido carnosina o beta-alanil-L-histidina es uno de los amortiguadores intracelulares más importantes. La carnosina se sintetiza desde sus precursores L-histidina y beta-alanina. Se encuentra en concentraciones relativamente altas en el citoplasma de los músculos esqueléticos (5 a 10 mM) y se cree que se encarga de alrededor del 10 % de la capacidad amortiguadora total del músculo vasto lateral. La importancia de la carnosina también queda clara si estudiamos diferentes especies. Las especies que están frecuentemente expuestas a condiciones anaeróbicas, como los sprints frecuentes, las conductas de vuelo explosivas y las inmersiones hipóxicas prolongadas, tienen mayores concentraciones iniciales de carnosina (Derave et al., 2007; Harris, Marlin, Dunnett, Snow y Hultman, 1990). Los niveles de carnosina suelen ser más altos en las fibras musculares de contracción rápida en comparación con las fibras de contracción lenta. Esto concuerda con la observación de que también se ha encontrado que los deportistas humanos que participan en deportes anaeróbicos, como los velocistas (Parkhouse, McKenzie, Hochachka y Ovalle, 1985) y los fisicoculturistas (Tallon, Harris, Boobis, Fallowfield y Wise, 2005), tienen concentraciones intramusculares más altas de carnosina.

La ingesta de carnosina no es eficaz para aumentar la concentración de carnosina intramuscular, ya que se degrada en el tracto gastrointestinal y la absorción y la biodisponibilidad de carnosina son bastante deficientes. Además, la carnosina no es captada por el músculo, sino que se sintetiza en el músculo a partir de sus aminoácidos constitutivos mediante la enzima carnosina sintasa. La beta-alanina es un precursor de la carnosina y los estudios han demostrado que la suplementación con beta-alanina puede llevar a un aumento en el contenido de carnosina muscular de hasta aproximadamente el 80 %, lo que a su vez puede dar lugar a un mejoramiento de la amortiguación de H^+

intramuscular. Se ha demostrado que esto genera un aumento en el desempeño del ejercicio de alta intensidad tanto en individuos no entrenados como entrenados.

Figura 4: Demandas energéticas del músculo en el ejercicio de alta intensidad.



Fuente: Lancha Junior, Painelli Vde, Saunders y Artioli, 2015, https://bit.ly/2RI1hhW.

Figura 4: El ejercicio de alta intensidad aumenta la demanda de energía del músculo, a la que se responde con fuentes de energía aeróbica y anaeróbica. Las principales contribuciones de la degradación del ATP y la glucólisis anaeróbica a la producción de H^+ durante el ejercicio. Los amortiguadores físico-químicos (por ejemplo, la carnosina) representan la primera línea de defensa contra los cambios en el pH muscular, y son la única defensa durante el ejercicio cuando se ocluye el flujo sanguíneo. b La molécula de carnosina con su cadena lateral de imidazol en la que se amortiguan los H^+ acumulados. Además de la amortiguación intracelular, el transporte de H^+ transmembrana es un controlador importante del pH durante el ejercicio dinámico. c Los transportadores principales, incluido el intercambiador de sodio-hidrógeno (NHE), el cotransportador de bicarbonato de sodio (NBC) y el transportador de monocarboxilato (MCT1,

MCT4). Los H^+ circulantes se amortiguan posteriormente mediante los aniones bicarbonato. ADP adenosín difosfato, ATP adenosín trifosfato. (Lancha Junior, Painelli Vde, Saunders y Artioli, 2015, https://bit.ly/2RI1hhW.)

Para lograr los cambios deseados en el contenido de carnosina, es importante tomar cantidades relativamente grandes de beta-alanina. Los estudios sugieren que una dosis única diaria de 3.2 g de beta-alanina, o hasta ocho dosis diarias de 0.4 a 1.6 g de beta-alanina por dosis única (3.2 a 6.4 g de beta-alanina por día) en un rango de 4 a 10 semanas, se requiere para obtener un aumento de 60 a 80 % en el contenido de carnosina muscular (Harris et al., 2006; Hill et al., 2007). Sin embargo, esto podría tener efectos secundarios. Se ha documentado que grandes dosis agudas de beta-alanina parecen inducir leves reacciones cutáneas pseudoalérgicas o parestesia (sensación de enrojecimiento y hormigueo leves) que parecen desaparecer en aproximadamente 2 horas. Por esa razón, la dosis diaria generalmente se distribuye en cuatro a ocho dosis pequeñas. Se desarrolló una versión de liberación lenta del suplemento para minimizar los síntomas. La beta-alanina ahora se puede tomar como una formulación de tableta de liberación sostenida lenta (CarnoSyn™). Aunque el hallazgo de que la suplementación con beta-alanina conduce a un aumento en la carnosina muscular ha sido muy coherente, los efectos en el desempeño han sido mucho menos claros. Un estudio mostró que 4,8 g de beta-alanina por día (4 semanas) en corredores entrenados de 400 m mejoraron la resistencia a la fatiga en rondas repetidas de contracciones dinámicas exhaustivas. Pero la resistencia isométrica en aproximadamente el 25 % de la fuerza de contracción voluntaria máxima (MVC) y un tiempo de carrera de 400 m no se vio afectada (Derave et al., 2007). En otro estudio, el desempeño de sprint mejoró al final de una carrera de ciclismo simulada (Derave et al., 2007). Estudios más recientes han demostrado beneficios de desempeño en el ejercicio isométrico de intensidad moderada (45 % de MVC) (Sale et al., 2009) y en varias pruebas dinámicas de capacidad de ejercicio de alta intensidad que duran entre 1 y 4 minutos (Hobson, Saunders, Ball, Harris y Sale, 2012). Actualmente, parece que hay algunas pruebas de esta revisión que indican que la suplementación con BA puede aumentar el rendimiento deportivo. Específicamente, parece haber pruebas de calidad moderada a alta que indican que la suplementación con BA puede aumentar el tiempo para llegar al agotamiento y la producción de potencia (Quesnele, Laframboise, Wong, Kim y Wells, 2014). También hay pruebas de calidad moderada a alta que indican que la suplementación con beta-alanina puede disminuir los sentimientos subjetivos de fatiga y el agotamiento percibido.

Se han publicado varias revisiones sobre la beta-alanina y sus posibles efectos:
(Artioli et al., 2010; Christensen, Shirai, Ritz y Nordsborg, 2017; Lancha Junior et al., 2015; Quesnele et al., 2014; Saunders et al., 2017) .

La mayoría de los estudios que han usado un protocolo de ejercicios que duró más de 1 minuto, en el cual la acidosis fue la causa principal de la fatiga, han demostrado efectos positivos significativos en el desempeño.

La carnosina puede limitar la acidosis al actuar como un amortiguador de iones de hidrógeno, pero también se puede obtener un mejor desempeño contráctil mediante un mejor acoplamiento de excitación/contracción y una defensa contra especies reactivas de oxígeno, ya que la carnosina también es un antioxidante. Se encuentran altas concentraciones de carnosina en individuos con una alta proporción de fibras de contracción rápida, ya que estas fibras están enriquecidas con el dipéptido. El contenido de carnosina muscular es menor en las mujeres, disminuye con la edad y es menor en los

vegetarianos, cuyas dietas no contienen beta-alanina. Los deportistas entrenados en sprints muestran carnosina muscular notablemente alta, pero el efecto de varias semanas de entrenamiento de alta intensidad sobre la carnosina muscular es bastante pequeño. Los altos niveles de carnosina en los velocistas de élite son, por lo tanto, determinados genéticamente o como resultado de una adaptación lenta a años de entrenamiento. A la luz de los efectos positivos sobre el desempeño, no es sorprendente que la B-alanina se esté desarrollando rápidamente como un popular suplemento nutricional ergogénico para deportistas, aunque los posibles efectos secundarios y el mecanismo de acción requieren estudios adicionales.

En resumen, la mayoría de los estudios que han encontrado efectos ergogénicos significativos hasta la fecha se han llevado a cabo en personas desentrenadas o activas de manera recreativa que realizan rondas de ejercicio en condiciones de laboratorio. Una menor cantidad de estudios sobre deportistas altamente entrenados que realizan tareas únicas de ejercicio similares a las de una competencia indican que este tipo de población recibe beneficios en el desempeño modestos pero potencialmente valiosos gracias a la suplementación con beta-alanina. Algunos estudios recientes también proporcionan pruebas que respaldan el uso de la beta-alanina como ayuda de entrenamiento para aumentar las rondas de entrenamiento de alta intensidad (Trexler et al., 2015). También se ha demostrado que la suplementación con beta-alanina aumenta el desempeño del entrenamiento resistido y el volumen de entrenamiento en deportistas de deportes de equipo, lo que puede permitir una mayor sobrecarga y adaptaciones superiores en comparación con el entrenamiento solo (Trexler et al., 2015). El potencial ergogénico de la suplementación con beta-alanina para deportistas de élite que realizan rondas repetidas de ejercicios de alta intensidad, ya sea durante el entrenamiento o durante la competición en deportes que requieren esfuerzos máximos repetidos, necesita más investigación. (Derave y cols. 2010, https://bit.ly/2FmptQp)

4.1.4 Bicarbonato de sodio y citrato de sodio

El bicarbonato de sodio es uno de los suplementos más baratos y más fácilmente disponibles sobre los que hablaremos. Se puede comprar en un supermercado como bicarbonato en polvo y, por lo tanto, es un ingrediente común para hornear. Cuando se realiza un ejercicio de máxima intensidad durante más de 30 segundos, la mayor parte de la energía surge de la glucólisis anaeróbica. El ácido láctico se forma a ritmos elevados y el aumento de la acidez del músculo parece ser un factor importante que limita el desempeño en actividades de 1 a 10 minutos. Mientras que la carnosina actúa como amortiguador intracelular, el bicarbonato actúa como amortiguador extracelular (Figura 4). Existen algunas sustancias que encajan en la misma categoría. Aquí discutiremos el bicarbonato de sodio y el citrato de sodio.

Glucólisis anaeróbica

El pH de la sangre es normalmente de 7,4 y puede disminuir a 7,1 o alcanzar un nivel ligeramente más bajo después del ejercicio de alta intensidad. El pH del músculo es normalmente alrededor de 7,0 y puede disminuir hasta alrededor de 6,5. El organismo tiene varios sistemas para ajustar y regular el equilibrio ácido-base. Los amortiguadores químicos proporcionan una

forma efectiva y rápida de normalizar la concentración de H^+. Otros sistemas incluyen la excreción de CO_2 por ventilación pulmonar y la excreción de H^+ por los riñones.

Los amortiguadores primarios en el músculo son los fosfatos y las proteínas del tejido. Los amortiguadores más importantes en la sangre son las proteínas, la hemoglobina y el bicarbonato. Durante el ejercicio intenso, los amortiguadores intracelulares son insuficientes para amortiguar todos los iones de hidrógeno formados. Aumenta el flujo de salida de H^+ a la circulación y el bicarbonato desempeña un rol en la amortiguación de estos iones H^+.

$$H^+ + HCO^-_3 \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H_2O + CO_2$$

El mecanismo por el cual el bicarbonato supuestamente ejerce su acción es a través de esta amortiguación de H^+ en la sangre (no en el músculo, como se afirma a menudo). Sin embargo, la amortiguación de H^+ en la sangre aumenta el gradiente de H^+ y aumenta el flujo de salida de H^+ desde el músculo. Numerosos estudios sobre los efectos de la ingesta de bicarbonato y el desempeño en el ejercicio han arrojado resultados equívocos. Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7.

Varios estudios sugieren que se necesita una dosis mínima de ingesta de bicarbonato para mejorar el desempeño. Los metaanálisis de la bibliografía disponible sugieren una relación dosis-respuesta entre la cantidad de bicarbonato ingerido y el efecto observado en el desempeño (Horswill, 1995). Una dosis de 200 mg/kg, ingerida de 1 a 2 horas antes del ejercicio, parece mejorar el desempeño en la mayoría de los estudios, mientras que 300 mg/kg parece ser la dosis óptima (con efectos secundarios tolerables para la mayoría de los deportistas). Las dosis de menos de 100 mg/kg no afectan el desempeño. Estas conclusiones fueron apoyadas en cierta manera por un metaanálisis muchos años después (Carr, Hopkins y Gore, 2011). De los 38 estudios que cumplieron con todos los criterios de inclusión, el bicarbonato de sodio produjo una mejora del desempeño posiblemente moderada del 1,7 % (90 % CL 2,0 %) con una dosis habitual de 300 mg/kg en un solo sprint de 1 minuto. Los autores también concluyeron que el efecto fue probablemente mayor con los sprints repetidos.

La dosis de 300 mg/kg es una cantidad bastante grande, pero tiene sentido porque se necesita una gran cantidad de bicarbonato para causar una elevación significativa en la capacidad amortiguadora de la sangre. Las ingestas mayores a 300 mg/kg tienden a causar problemas gastrointestinales (hinchazón, malestar abdominal y diarrea). Ningún estudio muestra un efecto sobre el desempeño del ejercicio en el ejercicio de alta intensidad que dure menos de 1 minuto. No se ven afectados los ejercicios como las sentadillas, el press plano y los saltos. Además, generalmente no se ve afectado el ejercicio de larga duración. Por lo tanto, se ha identificado una ventana para la eficacia del bicarbonato entre aproximadamente 1 y 7 minutos. Pero un estudio realizado por McNaughton, Dalton, and Palmer (1999) mostró un mejor desempeño en una prueba de contrarreloj de 1 hora, que fue acompañada por un pH sanguíneo más alto durante todo el ejercicio. (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).

Efectos secundarios

«Los efectos secundarios de la ingesta de bicarbonato de sodio en dosis tan grandes pueden ser graves. Con dosis de 300 mg/kg, muchos deportistas experimentan diarrea, molestias gastrointestinales, hinchazón y calambres una hora después de la carga. Los efectos dependen de la dosis. Las principales causas de estos problemas son la gran cantidad de sodio que se ingiere con el bicarbonato y la reacción del bicarbonato con el HCl en el estómago, lo que genera un gran volumen de CO_2 que distiende la pared del estómago» (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).
Es probable que beber grandes cantidades de agua durante la carga alivie algunos de los problemas. La administración en cápsulas puede reducir los efectos secundarios.

«Al menos en teoría, los amortiguadores extra e intracelulares deberían funcionar en paralelo y, por lo tanto, los efectos del bicarbonato y la beta-alanina deberían ser aditivos. De hecho, un estudio en remeros demostró que la suplementación crónica con beta-alanina y la suplementación aguda con bicarbonato de sodio solo tuvieron efectos positivos en el desempeño en el remo de 2000 m» (Hobson y cols., 2012, https://bit.ly/2FpBMvg). El consumo combinado de bicarbonato de sodio de manera aguda y beta-alanina de manera crónica incrementó aún más el desempeño en el remo. Cuando se investigó la ingestión combinada en el ejercicio intermitente en condiciones de hipoxia, no se observó ningún efecto, pero en este estudio, ni el bicarbonato ni la beta-alanina mostraron un efecto.

Una investigación reciente demostró un efecto significativo en el desempeño en los futbolistas de élite que reciben una suplementación con bicarbonato de sodio y potasio junto con fosfato de calcio, citrato de potasio y citrato de magnesio (Chycki et al., 2018). Los jugadores ingirieron las sales dos veces al día durante un período de entrenamiento de nueve días. Las mejoras en el desempeño anaeróbico fueron probablemente causadas por el aumento del pH sanguíneo en reposo y los niveles de bicarbonato.

Citrato de sodio

El citrato de sodio funciona de manera similar al bicarbonato. Aumenta la capacidad amortiguadora del espacio extracelular para aumentar el flujo de salida de iones de hidrógeno desde el espacio intracelular. El citrato de sodio es eficaz para limitar la disminución del pH de la sangre y mejorar el desempeño del ejercicio de alta intensidad de 2 a 4 minutos de duración (McNaughton y Cedaro, 1992; McNaughton, 1990). Las dosis habituales de citrato de sodio oscilan entre 300 y 500 mg/kg. Al igual que el bicarbonato de sodio, es probable que el citrato de sodio cause problemas gastrointestinales, como diarrea, cólicos e hinchazón. El citrato de sodio puede actuar como un agente amortiguador y mejorar el desempeño del ejercicio en eventos de hasta aproximadamente 10 minutos. Parece que el bicarbonato de sodio es más efectivo que el citrato de sodio. (Jeukendrup and Gleeson, 2018, https://bit.ly/2UENOq7).