



Revisión

Efectos de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo

Raúl Domínguez¹, Juan H Lougedo¹, José Luis Maté-Muñoz¹ y Manuel Vicente Garnacho-Castaño²

¹Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Alfonso X El Sabio. Villanueva de la Cañada, Madrid. ²Departamento de Fisiología e Inmunología. Universidad de Barcelona, Barcelona. España.

Resumen

La carnosina, dipéptido formado por los aminoácidos β -alanina y L-histidina, tiene importantes funciones fisiológicas entre las que destaca su función antioxidante y las relacionadas con la memoria y el aprendizaje. Sin embargo, en relación con el ejercicio, las funciones más importantes serían las relacionadas con la contractilidad muscular, al mejorar la sensibilidad al calcio en las fibras musculares, y la función reguladora del pH. De este modo, se ha propuesto que la carnosina es el principal tampón intracelular, pudiendo llegar a contribuir hasta un 7-10% en la capacidad *buffer* o tampón. Dado que la síntesis de carnosina parece estar limitada por la disponibilidad de β -alanina, la suplementación con este compuesto ha ido ganando cada vez más popularidad entre la población deportista. Por ello, el objetivo del presente estudio de revisión bibliográfica ha sido el de estudiar todos aquellos trabajos de investigación que han comprobado el efecto de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo. Por otra parte, también, se ha intentado establecer una posología específica que, maximizando los posibles efectos beneficiosos, reduzca al mínimo la parestesia, el principal efecto secundario presentado como respuesta a la suplementación.

(Nutr Hosp. 2015;31:155-169)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7517

Palabras clave: Aminoácido. Beta alanina. Carnosina. Parestesia. Suplementación deportiva.

Introducción

La β -alanina es un aminoácido no esencial sintetizado en el hígado¹ que puede ingerirse a través de la dieta (en fuentes de origen animal) o mediante suplementos². El estudio de la β -alanina ha cobrado un gran interés debido a su relación directa con la síntesis de carnosina.

La carnosina es un dipéptido, compuesto por los aminoácidos β -alanina y L-histidina³, siendo la enzi-

EFFECTS OF β -ALANINE SUPPLEMENTATION ON ATHLETIC PERFORMANCE

Abstract

Carnosine, dipeptide formed by amino acids β -alanine and L-histidine, has important physiological functions among which its antioxidant and related memory and learning. However, in connection with the exercise, the most important functions would be associated with muscle contractility, improving calcium sensitivity in muscle fibers, and the regulatory function of pH. Thus, it is proposed that carnosine is the major intracellular buffer, but could contribute to 7-10% in buffer or buffer capacity. Since carnosine synthesis seems to be limited by the availability of β -alanine supplementation with this compound has been gaining increasing popularity among the athlete population. Therefore, the objective of this study literature review was to examine all those research works have shown the effect of β -alanine supplementation on athletic performance. Moreover, it also has attempted to establish a specific dosage that maximizing the potential benefits, minimize paresthesia, the main side effect presented in response to supplementation.

(Nutr Hosp. 2015;31:155-169)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7517

Key words: Amino acid. Beta alanine. Carnosine. Paresthesia. Sports supplementation.

ma carnosina sintetasa la encargada de mediar en los procesos de síntesis⁴. Dicha actividad enzimática es tan importante que se ha llegado a identificar que el principal factor limitante en la velocidad de síntesis de carnosina es la actividad de la enzima carnosina sintetasa^{5,6,7}. A pesar de que la mayor parte de carnosina se encuentra en el músculo esquelético, también, existen pequeñas cantidades en el sistema nervioso central³, fundamentalmente en el lóbulo olfativo^{8,9}.

El organismo no es capaz de absorber directamente carnosina desde el torrente sanguíneo¹ y, dado que las concentraciones de β -alanina en el músculo son relativamente pequeñas en comparación con las de histidina y de la carnosina sintetasa^{10,11} y que la síntesis endógena de β -alanina se limita a una pequeña producción en un grupo de células hepáticas¹, se ha

Correspondencia: Raúl Domínguez.
E-mail: rdomiher@uax.es

Recibido: 13-IV-2014.
1.ª Revisión: 18-VIII-2014.
Aceptado: 6-X-2014.

propuesto que la síntesis de carnosina en el músculo esquelético viene limitada por la disponibilidad de β -alanina de la dieta^{3,12}.

La suplementación con β -alanina está englobada en el grupo B, según la clasificación que realiza el Instituto Australiano del Deporte en cuanto al grado de efectividad y seguridad de los suplementos deportivos. El número de estudios y el aumento en la utilización de dicho suplemento cobran cada día una mayor importancia, debido a la posible influencia de la carnosina sobre distintas funciones fisiológicas. Por ello, el presente trabajo de revisión bibliográfica tiene por objeto exponer los principales estudios que han relacionado directamente los efectos de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo, así como establecer pautas adecuadas para llevar a cabo una posología que se beneficiase de los efectos positivos de la suplementación minimizando al máximo los posibles efectos secundarios.

Metodología

Se trata de un estudio descriptivo sobre los posibles efectos beneficiosos que pudiera tener la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo. La búsqueda bibliográfica englobó artículos publicados en inglés o español como idioma, en unas fechas comprendidas entre el día 1 de enero de 2000 hasta el 6 de diciembre de 2013. Las bases de datos que se

utilizaron fueron Dialnet, Elsevier, Medline, Pubmed, Scopus, Sportdiscus y Web of Science.

Las palabras clave empleadas coincidían con términos incluidos en el Thesaurus Medical Subject Headings (MeSH) desarrollado por la U.S. National Library of Medicine. Las palabras clave y la estrategia de búsqueda empleada fue “*Beta alanine AND supplementation AND (exercise OR strength OR resistance OR endurance OR performance)*”.

De los 149 artículos que respondían a los criterios de la búsqueda, leímos todos los resúmenes y aplicamos unos criterios de inclusión/exclusión. Los criterios de exclusión propuestos fueron los siguientes:

- Artículos escritos en un idioma distinto al inglés o español.
- Revisiones bibliográficas y/o metaanálisis.
- Artículos realizados con animales.
- Artículos en los que no se siguió un protocolo de suplementación con β -alanina.
- Artículos que no incluyesen una intervención de ejercicio físico.
- Artículos que no midiesen ninguna variable relacionada con el rendimiento deportivo.

Finalmente, de los 44 artículos que cumplieron los criterios de inclusión exigidos para formar parte del estudio, utilizamos 18, al no tener acceso al texto completo de las otras 26 referencias. La figura 1 resume el proceso seguido en la selección de artículos.

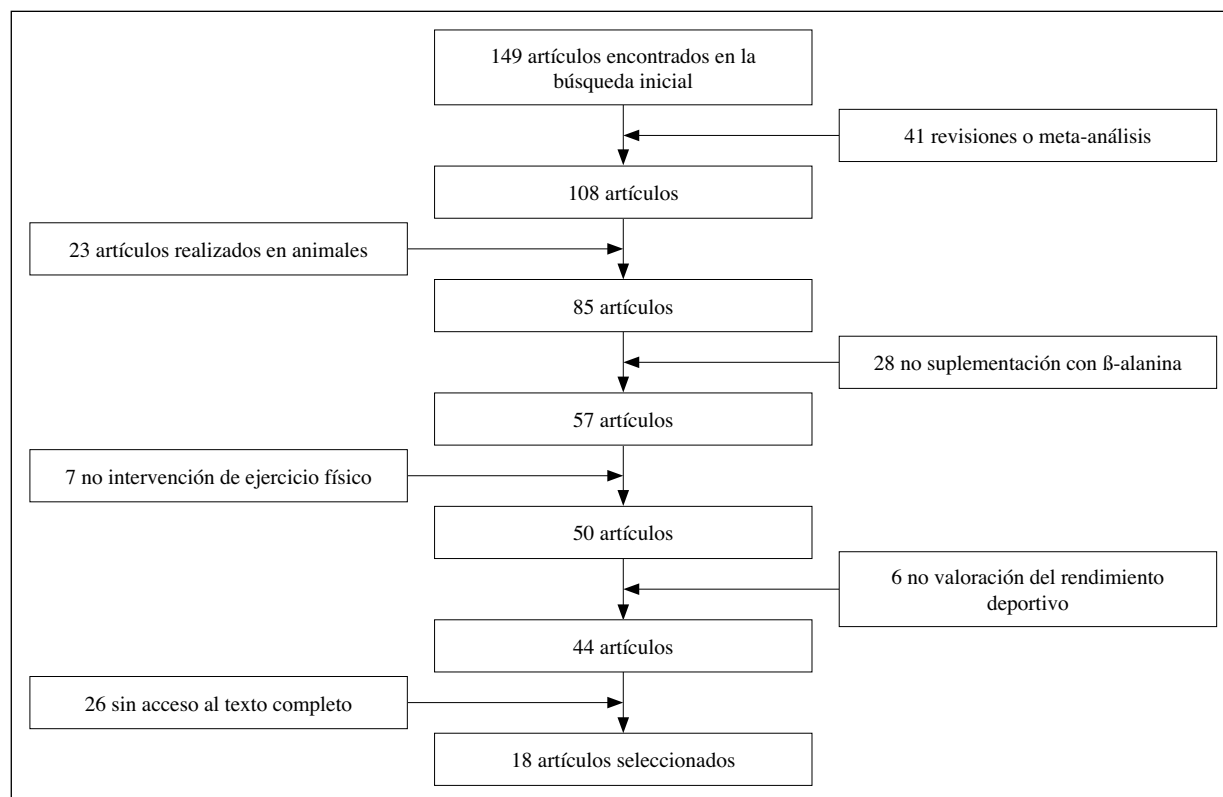


Fig. 1.—Selección de estudios para la investigación.

Funciones de la carnosina

Las funciones de la carnosina en el organismo son fundamentales. La más importante es la relacionada con la regulación del pH¹³. Así, aunque el principal tamponador de los H⁺ sea el bicarbonato¹⁴, la carnosina, junto a la fosfocreatina¹⁵ actúa como un importante tampón a nivel intracelular^{16,17}.

A nivel muscular, además del efecto tampón, se le ha atribuido otra importante función relacionada con la activación de la miosina ATPasa que, como sabemos, ejerce un papel fundamental en el mantenimiento de las reservas de ATP¹⁸. Además, a la carnosina muscular se le ha atribuido un efecto positivo a la hora de incrementar la sensibilidad del calcio en las fibras musculares¹⁹⁻²², aumentando la fuerza al tiempo que reduce la tasa de fatiga durante la actividad muscular, fruto de las mejoras en los procesos de excitación-contracción^{20,23,24}.

A pesar de ello, no debemos olvidarnos de otras funciones fisiológicas de gran importancia, así la carnosina desempeña una importante función antioxidante^{3,25,26}. Dado que el ejercicio físico como respuesta incrementa el estrés oxidativo debido al aumento de la actividad de la cadena transportadora de electrones²⁷ y a la liberación de oxígeno contenida en la hemoglobina hacia los tejidos²⁸, quizás sería beneficioso potenciar la actividad antioxidante en el deportista.

En el ámbito de la salud, un incremento del estrés oxidativo, debido a un déficit de carnosina, tiene efectos negativos al favorecer la peroxidación lipídica y de proteínas e incrementar el estado inflamatorio²⁹, perjudicando con ello la señalización de la insulina en el músculo esquelético³⁰. Esto explicaría porque se han encontrado estados deficitarios de carnosina muscular en personas con diabetes tipo 2³⁰.

Otra función de la carnosina consiste en actuar como neurotransmisor³¹, lo que unido a su presencia en el sistema nervioso central³², ha hecho que se proponga a ésta como mediadora en los procesos de aprendizaje³³, además de poder limitar posibles casos de neurotoxicidad³⁴. En este sentido, cabe señalar que se han reportado estados deficitarios en personas con Alzheimer³⁵. En relación con la presencia de carnosina en el sistema nervioso central, se ha propuesto un posible efecto neuroprotector que sirve de ayuda en el tratamiento y prevención de trastornos neurodegenerativos inducidos por el estrés oxidativo³⁶ o incluso en autismo³⁷, así como ejercer un importante efecto *antiaging*^{38,39,40}.

Factores que afectan a las concentraciones de carnosina muscular

Las concentraciones medias de carnosina se han cifrado en 17,5 ± 4,8 mmol/kg en mujeres y 21,3 ± 4,2 mmol/kg en hombres⁴¹, siendo similares a las concentraciones encontradas de carnitina y taurina⁴². De esta diferencia entre géneros subyace el primer factor que influirá en el balance de los niveles de carnosina mus-

cular, el entorno hormonal. De este modo, se propone que las hormonas anabólicas androgénicas podrían elevar las concentraciones de carnosina muscular⁴³.

No obstante, un factor más importante vendrá delimitado por las diferencias entre los distintos tipos de fibras musculares^{44,45} considerándose que las fibras de contracción rápida o tipo II contienen unos niveles de carnosina en torno a 1,3-2 veces mayores que las fibras de contracción lenta o tipo I⁴⁶⁻⁴⁹. Concretamente, el orden jerárquico atendiendo al contenido de carnosina muscular en las fibras musculares sería fibras tipo IIB > fibras tipo IIa > fibras tipo I^{33,50,51}.

Además, Parkhouse y cols.¹⁷ ya comprobaron que en velocistas las concentraciones de carnosina en el músculo esquelético eran superiores a la registradas en corredores de maratón y que en la población sedentaria. Posteriormente, Tallon y cols.⁴⁹ registraron en velocistas concentraciones medias de carnosina muscular de 50,87 mmol/kg. Se ha propuesto pues, que condiciones de hipoxia o acidosis muscular podrían explicar dichos resultados. Y es que los deportistas de pruebas explosivas, además de presentar una mayor composición de fibras musculares tipo II, su entrenamiento supone la exposición repetida a condiciones de acidosis e hipoxia muscular, que actualmente se han relacionado con estímulos capaces de incrementar la síntesis de testosterona^{52,53}, otro de los factores propuestos previamente⁴³.

Apoyando esa posible adaptación del incremento de las reservas musculares de carnosina como respuesta a un entrenamiento específico, Suzuki y cols.⁵⁴ observaron como un entrenamiento anaeróbico láctico (series de Wingate) consiguió duplicar dichas reservas en un grupo de velocistas. En otro estudio, se ha observado, junto a un incremento de las reservas de carnosina muscular, una disminución en la excreción de carnosina, así como una mayor actividad de carnosinasa en plasma, pudiendo explicarse de este modo dicho balance positivo en las reservas musculares de este tampón intramuscular⁵⁵.

Además, anteriormente se ha indicado que la síntesis de carnosina en el músculo esquelético vendría limitada por la disponibilidad de β-alanina de la dieta^{3,12}, siendo el aporte dietario de este aminoácido, un factor que influye directamente en las concentraciones de carnosina muscular. Así, dado que las principales fuentes de este aminoácido son las animales², no resulta raro el hecho de que las concentraciones de carnosina muscular sean significativamente menores en personas vegetarianas con respecto a personas que siguen una dieta omnívora^{50,56,57}. También, como cabe esperar, las concentraciones de carnosina muscular se incrementan tras seguir un período de suplementación con β-alanina^{13,47,58,59}.

Suplementación con β-alanina y concentraciones de carnosina muscular

Con objeto de cuantificar el incremento de las concentraciones de carnosina muscular a lo largo del tiem-

po, Hill y cols.⁴⁷ propusieron un protocolo de suplementación en rampa, que comenzaba con una dosis de 4 g/d para finalizar con 6,4 g/d, realizando biopsias musculares, al inicio, en el transcurso y al final de la intervención de 10 semanas de duración. En dicho estudio se comprobó que en la cuarta semana, las reservas de carnosina muscular se habían incrementado hasta en un 60%, si bien, estas reservas siguieron en aumento hasta incrementarse un 80% en la finalización del estudio. La respuesta de los niveles musculares de carnosina ante la suplementación con β -alanina muestra, por tanto, un comportamiento similar al observado tras seguir un protocolo de suplementación con monohidrato de creatina.

Se ha comprobado que un protocolo de suplementación con monohidrato de creatina presenta como respuesta un aumento progresivo de los niveles musculares de creatina durante el período de suplementación^{60,61}. Aún así, los niveles basales de creatina muscular previos al período de suplementación determinarán la cantidad de creatina muscular retenida tras la finalización del protocolo de suplementación^{62,63}. De este modo, personas vegetarianas (que se caracterizan por presentar unos menores niveles basales de creatina, consecuencia de su dieta baja en creatina) muestran una mayor capacidad de retención de creatina tras seguir un protocolo de suplementación con creatina, que personas que siguen una dieta rica en proteínas de origen animal (que presentan mayores niveles basales de creatina)⁶⁴.

Sin embargo, en cuanto a las reservas de carnosina muscular se refiere, se han observado incrementos significativos (47% en el sóleo y 37% en el gastrocnemio) en un grupo de corredores de 400 metros altamente entrenados y con altos niveles iniciales de carnosina, tras seguir un período de 4 semanas de suplementación con una dosis de 4,8 g/d. Por ello, a diferencia de la creatina, en base a los altos niveles iniciales de carnosina muscular en los participantes del anterior estudio⁵⁹, se sugiere que los niveles basales de carnosina no afectarán al resultado final de un protocolo de suplementación y, quizás sí, el efecto dependerá del tipo de fibras de los sujetos, así como de la cantidad de beta alanina aportada¹⁰.

Es importante destacar que los excesos de β -alanina y carnosina se excretan en orina¹³ y que para que se produzca un incremento significativo sobre las reservas musculares haría falta un período de 2 semanas de suplementación con una dosis de 1,6 g/d⁵¹.

Un aspecto muy importante a considerar es el tiempo que tardan en normalizarse los valores de carnosina tras seguir un protocolo de suplementación. Para responder a esta cuestión, Baguet y cols.⁵⁸ comprobaron los niveles de carnosina muscular, antes y después de un protocolo de suplementación de 4,8 g/d durante 5-6 semanas, así como en las semanas 3 y 9 posteriores al cese de la suplementación. Dichos investigadores cuantificaron la disminución en el contenido de carnosina muscular en un 2-4% semanalmente, lo que ex-

plicó que los niveles se mantuviesen sin cambios significativos a las 3 semanas de finalizar el período de suplementación⁵⁸. Estos resultados hacen considerar que, a nivel de investigación, al utilizar un diseño cruzado debería de tenerse en cuenta dicho efecto residual y considerar que períodos de 3 semanas de *lavado* no serían suficientes, pues los niveles de carnosina musculares podrían encontrarse significativamente elevados con respecto a los niveles previos a comenzar con la suplementación³.

Suplementación con β -alanina en modalidades deportivas de corta duración y alta intensidad

Podemos entender por modalidades deportivas de muy corta duración a aquellas que se desarrollan a una intensidad máxima y con una duración próxima y/o inferior a los 10 segundos⁶⁵. En este tipo de modalidades deportivas, habría que considerar las escasas concentraciones intramusculares de ATP (5-6 mmol/g de fibra muscular), por lo que la principal vía energética será la capacidad de resintetizar ATP a través de la fosfocreatina^{65,66}, siendo un factor limitante la acción enzimática de la creatinquinasa⁶⁷. Se estima que el tiempo que tardan en agotarse las reservas de fosfocreatina oscila entre los 10 y 30 segundos⁶⁸.

Desde el punto de vista energético, el tipo de fibras musculares tendrá una implicación directa, debido a que el contenido de creatina en las fibras musculares tipo II es superior al de las fibras tipo I⁶⁹. Sin embargo, los principales factores relacionados con el rendimiento están estrechamente relacionados con la capacidad de fuerza y potencia, así como adaptaciones de tipo neural. Y en cuanto a la fatiga, ésta se relaciona con la disminución de las reservas de fosfocreatina⁷⁰, no siendo la disminución del pH un factor limitante del rendimiento en este tipo de modalidades^{71,72}.

No obstante, aunque no fuese de manera directa, la suplementación con β -alanina podría mejorar el rendimiento de manera indirecta. Se ha verificado que cuando la β -alanina se ingiere junto a creatina durante un período de 10 semanas (a una dosis de 3,2 g/d de β -alanina + 10,5 g/d de creatina) se observa un efecto positivo sobre el volumen e intensidad de entrenamiento de fuerza realizado, así como la intensidad del mismo, traducándose en mejoras sobre los niveles de masa muscular y disminución de la masa grasa⁷³. Además, la suplementación con β -alanina + creatina dio lugar a incrementos superiores en una repetición máxima (1 RM) en los ejercicios de sentadilla y press de banca en comparación con el grupo control y el que ingirió únicamente la suplementación con creatina⁷³.

El anterior efecto favorable de la suplementación con β -alanina sobre el incremento de la masa magra, sería posteriormente ratificado durante un estudio de 6 semanas de duración en el que se utilizó la metodología del *High-Intensity Interval Training* (HIIT)⁷⁴.

De este modo, si se permitiera entrenar con una mayor intensidad, podríamos considerar, ante la escasez de datos, que la suplementación con β -alanina puede ejercer una posible mejora del rendimiento. También, cabría considerar un efecto positivo en este tipo de esfuerzos en condiciones en las que previamente haya habido una disminución brusca del pH^{75,76}.

Suplementación con β -alanina en modalidades deportivas de media duración y alta intensidad

Las modalidades deportivas de alta intensidad que presentan una duración comprendida entre los 30 segundos y 5 minutos se caracterizan porque la glucólisis anaeróbica es la principal fuente energética⁷⁷. El empleo de esta vía metabólica, si bien tiene la ventaja de ser una fuente de rápida provisión de energía⁷⁸, se caracteriza por llevar consigo una acumulación de iones hidrógeno (H^+) que dará lugar a una disminución del pH intramuscular^{79,80}. Dicha acumulación de H^+ será mayor a medida que incremente la contribución de la glucólisis anaeróbica como sistema primario de energía⁴, observándose en ejercicios de alta intensidad, los valores de pH más bajos en aquellas modalidades con una duración de 4 minutos⁸¹.

A nivel intracelular, la acumulación de H^+ irá acompañado de una inhibición de la fosfofructoquinasa, lo cual afecta a la capacidad de resíntesis de fosfocreatina^{82,83}, una inhibición de la glucólisis⁸⁴, que disminuirá la tasa glucolítica, y un efecto negativo sobre la contracción muscular^{85,86}, al alterar la captación y recaptación de calcio por parte del retículo sarcoplasmático^{77,83,87}. A nivel psicológico, por su parte, se incrementa la percepción subjetiva del esfuerzo^{88,89}.

En última instancia, estas situaciones de acidosis dan lugar a disminuciones de la actividad electromiográfica⁹⁰, que producirán fatiga muscular^{91,92,93}, entendida como la disminución de la fuerza durante el ejercicio físico intenso⁹⁴. Es por ello que se ha propuesto que todas aquellas medidas encaminadas a prevenir situaciones de acidosis extremas pueden ser beneficiosas al disminuir los síntomas de fatiga que caracterizan a dicha situación de inestabilidad metabólica^{2,95,96,97}.

A este nivel, la suplementación con β -alanina puede tener una gran importancia dado que se ha cuantificado que la contribución de la carnosina muscular sobre la capacidad tampón o de amortiguamiento oscila entre un 7%^{41,98} y un 10%¹³, pudiendo llegar a suponer hasta un 15-25% tras seguir un protocolo de suplementación^{2,13}. No obstante, la contribución de la carnosina con estos fines puede diferir en función del tipo de fibras, siendo mayor en las tipo II con respecto a las fibras tipo I⁴⁵.

Así, durante el ejercicio, aunque el principal tampónador de los H^+ generados sea el bicarbonato¹⁴, no debemos olvidar una serie de iones en el sarcolema que actúan facilitando la salida de H^+ ⁹⁹, así como de los tampones intracelulares¹⁷, destacando la carnosina¹⁵. Y

es que el pH de la carnosina es de 6,83, más cercano al pH fisiológico que el del sistema del bicarbonato (6,37), lo que hace que probablemente sea utilizado primeramente en el ejercicio de alta intensidad⁷⁹.

Los estudios de suplementación deportiva, cobran gran importancia en el deporte de alta competición, ya que, las mejoras gracias al entrenamiento van siendo cada vez más difíciles, al tiempo que las diferencias entre el éxito y el fracaso se van reduciendo. En este contexto, se ha observado que un período de suplementación con β -alanina de 5 semanas de duración con un protocolo de suplementación en rampa (comenzando en 3,2 g/d y finalizando en 6,4 g/d) fue efectivo para producir mejoras significativas (2%) en un grupo de nadadores altamente entrenados en la prueba de 200 m estilo libre, al tiempo que mostró una tendencia a la mejora en los 100 m estilo libre (2,1%)⁹⁵. Las mejoras más evidentes en la prueba del 200 m con respecto a la de 100 m podría deberse a la mayor importancia de los mecanismos *buffer*, si bien, no debemos de obviar que el efecto de la suplementación podría haberse debido a mejoras de la contractilidad muscular como resultado de la suplementación, tal y como han observado Dutka y cols.²⁴.

En los ejercicios de fuerza realizados mediante contracciones isométricas se han propuesto que intensidades del 45% de la máxima contracción isométrica voluntaria (MIVC) son las óptimas para inducir a las mayores concentraciones de lactato¹⁰⁰. Esta razón llevó a Sale y cols.¹⁰⁰ a comprobar el tiempo hasta el agotamiento ante una carga del 45% MIVC en un ejercicio de extensión de piernas tras un protocolo de 4 semanas de suplementación con β -alanina (6,4 g/d). El principal resultado que encontraron los investigadores fue una mejora del tiempo hasta el agotamiento (13,2%) en el grupo que se suplementó con β -alanina, seguramente por mediación del efecto de la sensibilidad de la fibra muscular hacia la captación y recaptación de calcio en una situación importante de acidosis metabólica¹⁰⁰.

No obstante, una serie de estudios no han observado mejoras tras seguir un protocolo de suplementación con β -alanina. Así, Smith-Ryan y cols.¹⁰¹, a pesar de encontrar una mejora significativa en el tiempo hasta el agotamiento a una carga constante relativa al 110% del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), no llegaron a registrar cambios con respecto al grupo placebo, que también mejoró tras finalizar el período de intervención (4 semanas). Posteriormente, ante una prueba de las mismas características, pero esta vez a intensidades del 115% y 140% del VO_{2max} , tampoco pudo demostrarse mejora alguna tras seguir un protocolo de suplementación con β -alanina¹⁰². Sin embargo, una observación importante que podemos apreciar es que en ambos estudios la dosis de la suplementación fue de 4 y 4,8 g/d, respectivamente, en comparación con la dosis de 6,4 g/d observada en los estudios anteriormente citados y que reportaron efectos beneficiosos^{95,100}.

El estudio llevado a cabo por de Salles y cols.⁹⁵ empleó un test de rendimiento en una población de nadadores altamente entrenados. Con el objetivo de acer-

carse aún más al contexto deportivo real, en un estudio posterior se intentó cuantificar el efecto de un protocolo de suplementación con β -alanina en el rendimiento en competición en un grupo de nadadores de nivel internacional¹⁰³. En dicho estudio, las mejoras observadas previamente mediante test en nadadores gracias a la suplementación con β -alanina²⁴ no pudieron transferirse a mejoras en el tiempo en competición¹⁰³.

Los anteriores resultados refuerzan un estudio previo donde en un grupo de corredores de 400 m, a pesar de seguir un protocolo de suplementación en rampa de 4 semanas que comenzó en 2,4 g/d para finalizar en 4,8 g/d de β -alanina, éstos obtuvieron incrementos significativos en los niveles de carnosina que no se acompañaron de mejoras en el tiempo en recorrer los 400 metros⁵⁹. Sin embargo, dicha ausencia de mejora dista con el torque medido en 5 series de 30 contracciones máximas de extensión de piernas en una máquina isocinética donde sí se obtuvieron mejoras significativas durante las 5 series, siendo estas diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo placebo en las 2 últimas series⁵⁹. Una posible explicación puede radicar en que la disminución del pH no sea un parámetro que afecte significativamente al rendimiento en este tipo de pruebas con una duración inferior a 1 minuto. De este modo, estos resultados pueden estar en consonancia con los observados por Dutka y cols.²⁴ en los que, a pesar de observar mejoras significativas en la prueba de 200 m natación, en los 100 m (con una duración más próxima al estudio anterior) los resultados únicamente mostraban una tendencia a la significación. En cualquier caso, los resultados observados sobre el torque en las extensiones de piernas deberían considerarse como un resultado *a priori* favorable para el rendimiento de los atletas.

Y es que, hay que tener presente que durante un protocolo de 10 semanas de suplementación con β -alanina + creatina, se favoreció un mayor volumen de entrenamiento que probablemente, fue el responsable de explicar las mejoras encontradas en cuanto a la composición corporal se refiere con respecto a los participantes que ingirieron placebo o únicamente creatina⁷³. Este estudio abre la posibilidad de que la combinación de β -alanina y creatina pueda tener un mayor efecto en este tipo de modalidades de ejercicio que cada una de ellas por separado⁷³. De este modo, podría abrirse un campo sobre la utilización de la suplementación con β -alanina en las modalidades de fuerza, ya que, su principal vía metabólica es la glucólisis anaeróbica⁹⁸, comprobándose que tras una sesión de entrenamiento, el pH puede caer a valores inferiores a 6,8^{104,105}.

No obstante, se deberían de considerar, con objeto de evaluar la efectividad y la mejora de la capacidad anaeróbica, protocolos de evaluación del rendimiento intermitentes, debido a que éstos dependen en mayor medida de la glucólisis anaeróbica como vía energética demostrando una mayor capacidad de disminuir los niveles de pH postejercicio¹⁰⁶. Siguiendo con este tipo de protocolos, como se verá más adelante, si bien se ha

observado una mejora significativa del rendimiento al seguir un protocolo de suplementación con β -alanina, dicha mejora fue mayor al combinar la suplementación con β -alanina y bicarbonato sódico⁹⁷.

Sin embargo, dichas diferencias no se encuentran al seguir un protocolo de entrenamiento de 5 semanas y una dieta rica o pobre en β -alanina, en el que ambos grupos mejoraron la potencia en un test intermitente de 6 segundos de sprint seguidos con 24 segundos de recuperación¹⁰⁷. En dicho estudio, las mejoras observadas se deberían a una mayor capacidad aeróbica¹⁰⁸ o una mejora a nivel neuronal¹⁰⁹, no pareciendo en ningún caso que los diferentes niveles en las concentraciones de carnosina hubiesen ejercido un efecto en ninguna dirección¹⁰⁷. Estos resultados no deben de causar sorpresa, ya que, como se ha documentado previamente, parece que las dosis necesarias para que la β -alanina ejerza efectos beneficiosos tendrían que conseguirse a través de la suplementación y con dosis en torno a 6,4 g/d.

Otra forma que se considera específica para medir la capacidad anaeróbica en deportistas de resistencia, consiste en la realización de un test de intensidad máxima tras haber realizado previamente una sesión de ejercicio, es decir, en condiciones de prefatiga y que se asemeja a la situación en la que estos deportistas, generalmente, se encuentran cuando deben de realizar algún esfuerzo con un alto componente anaeróbico. Con dicho objetivo, Van Thienen y cols.⁷⁶ observaron mejoras tanto en el pico de potencia como en la potencia media en un test de Wingate tras la realización de una prueba a intensidades variables, por encima y por debajo del máximo estado estable de lactato (MLSS), de una duración de 125 minutos. Demostrando, de este modo, que un protocolo de suplementación con β -alanina de 8 semanas de duración con una dosis creciente de 2 a 4 g/d tiene un efecto ergogénico sobre el rendimiento anaeróbico en situaciones de prefatiga⁷⁶.

Una estrategia que *a priori* pudiera tener un efecto ergogénico mayor es la coingesta de β -alanina y bicarbonato sódico, compuesto que ha demostrado tener un efecto ergogénico en pruebas de alta intensidad y media duración^{110,111,112}. Para analizar el efecto de dicha estrategia ergonutricional se realizó un protocolo de suplementación de 4 semanas con una dosis de 6,4 g/d de placebo o β -alanina y, a su vez, en los días previos a la finalización del período se dividieron ambos grupos en dos subgrupos que ingirieron placebo o bicarbonato sódico¹¹³. Mediante dicho diseño experimental se pudo apreciar, por una parte el posible efecto ergogénico de la β -alanina, del bicarbonato sódico y de la combinación de ambos compuestos. Se observó una mejora significativa en el tiempo hasta al agotamiento a una intensidad relativa al 110% VO_{2max} al ingerir β -alanina (14,6%), siendo esta diferencia similar a la encontrada en el grupo que además de β -alanina ingirió bicarbonato sódico, y estadísticamente superior al grupo que ingirió placebo + placebo o placebo + bicarbonato sódico¹¹³.

Sin embargo, en un estudio similar, pero realizado con ciclistas altamente entrenados se observó que, a pesar de que una suplementación con β -alanina durante 4 semanas a una dosis de 65 mg/kg/d mejoró el rendimiento en una prueba máxima de 4 minutos en cicloergómetro, dicha mejora no alcanzó un nivel de significación estadística¹¹⁴. Por el contrario, cuando esta estrategia fue acompañada de una suplementación con bicarbonato sódico (0,3 mg/kg) antes de la prueba de valoración del rendimiento, sí que se produjo una mejora estadísticamente significativa (3,4%), siendo incluso algo mayor que al ingerir únicamente bicarbonato sódico (3,1%), obteniendo con ésta, mejoras significativas, a diferencia de la suplementación exclusiva con β -alanina. En cualquier caso, habría que destacar que la suplementación en este estudio fue ligeramente inferior a la que utilizaron Sale y cols.¹¹³, y donde se obtuvieron las mayores mejoras en el rendimiento fue con el protocolo donde se combinaron ambos suplementos.

A diferencias de los dos estudios anteriores, recientemente se han observado mejoras significativas tanto al emplear una suplementación con β -alanina como con bicarbonato sódico, tanto en el trabajo total realizado como en la potencia media en 4 series de Wingate intercaladas con 3 minutos de recuperación, si bien, la combinación de bicarbonato sódico y β -alanina mostró a su vez una mejora significativa con respecto a las observadas al suplementarse con cualquiera de los dos compuestos por separado⁹⁷. Es más, la combinación de ambos compuestos mostró una mejora significativa de la potencia pico en los Wingates 2º, 3º y 4º, mientras que, en cuanto a la potencia media fue la única estrategia ergonutricional que consiguió producir mejoras en cada una de las series estudiadas⁹⁷.

Suplementación con β -alanina en modalidades deportivas de larga duración

Las pruebas de larga duración se caracterizan por tener una intensidad inferior o en torno al $VO_{2m\acute{a}x}$. El $VO_{2m\acute{a}x}$ es un parámetro fisiológico que expresa la máxima capacidad del organismo de captar, transportar y utilizar oxígeno por unidad de tiempo¹¹⁵. Se estima que una intensidad relativa al $VO_{2m\acute{a}x}$ puede mantenerse alrededor de 5 minutos¹¹⁶.

Los principales factores determinantes del rendimiento en este tipo de modalidades deportivas son: el $VO_{2m\acute{a}x}$, el umbral de lactato, así como la eficiencia energética¹¹⁷. La composición corporal influirá notablemente. Así, se ha observado una correlación inversa entre la masa grasa y el rendimiento en triatletas de alto nivel¹¹⁸, seguramente por interacciones en la economía del movimiento¹¹⁹. También, se ha propuesto que deportistas con cuerpos pequeños ofrecen ventajas en relación con la termorregulación durante el esfuerzo^{120,121}.

Por su parte, los principales factores limitantes del rendimiento que se han propuesto han sido fallos a ni-

vel de captación y recaptación de calcio en el retículo sarcoplasmático, agotamiento de las reservas energéticas, hipertermia, fatiga central, daño muscular, producción de radicales libres producto del estrés oxidativo, así como la acumulación de metabolitos como H^+ ^{23,122,123}.

Con objeto de comprobar un posible efecto beneficioso de la suplementación con β -alanina, mediante una mejora en el equilibrio ácido-base en ejercicios de resistencia aeróbica, Baguet y cols.¹⁰⁷ estudiaron el efecto sobre el componente lento del VO_2 de un período de suplementación en rampa (que se incrementó desde 2,4 g/d al inicio hasta los 4,8 g/d) de 4 semanas de duración. En dicho estudio pudo comprobarse como la administración de β -alanina se acompañó de una mejora en la regulación de los niveles de pH, tras ejercitarse a una intensidad situada al 50% entre el umbral ventilatorio (VT) y el $VO_{2m\acute{a}x}$, aún sin diferencias en el intercambio gaseoso (medido mediante analizador de gases), lo que sugiere una más que posible mejora en la reducción de la acidosis a intensidades moderadas o elevadas de ejercicio¹⁰⁷.

Stout y cols.⁹⁶ tuvieron como objetivo cuantificar el efecto de un período de suplementación con β -alanina de 4 semanas (1,2 g/d) sobre el rendimiento de resistencia aeróbica. Para ello, emplearon el denominado *physical working capacity at fatigue threshold* (PWC), que busca hallar la intensidad de trabajo a partir de la cual se produce un incremento de la actividad electromiográfica del vasto externo durante una prueba submáxima incremental en cicloergómetro y que se ha relacionado con la aparición de fatiga neuromuscular^{124,125}. En dicho estudio, se encontró una mejora significativa en el PWC (14,5%). Sin embargo, las mejoras no llegaron a ser significativas cuando los deportistas combinaron la anterior dosis de β -alanina (1,2 g/d) con 5,25 g/d de creatina, o únicamente ingiriendo 5,25 g/d de creatina⁹⁶. Posteriormente, el mismo grupo de investigadores¹²⁶ comprobó en un estudio similar, pero llevado a cabo con mujeres no deportistas, una mejora estadísticamente significativa en el PWC (12,6%), así como en el VT (13,9%). Dichas mejoras observadas en el VT, también, han sido reportadas por Zoeller y cols.¹²⁷ en un grupo de hombres que siguieron un protocolo de suplementación de 4 semanas de duración. Dado que los incrementos en la actividad electromiográfica se han relacionado con disminuciones del pH¹²⁸, coincidiendo con el incremento de los niveles de amonio y lactato⁹⁰, se sugirió que la β -alanina mejoró el rendimiento de los sujetos gracias a su actividad tampón^{96,127}.

Guiasvand y cols.¹²⁹, por su parte, estudiaron la respuesta sobre el $VO_{2m\acute{a}x}$ en un grupo de estudiantes universitarios de educación física, que siguieron un protocolo de suplementación con β -alanina a una dosis de 2 g/d durante un período de 6 semanas, encontrando mejoras significativas (de 2,62 a 2,79 l/min), así como en una prueba hasta el agotamiento a una carga constante (de 923 a 992 segundos). Los autores de di-

cho estudio, atribuyeron las mejoras observadas a un aumento en la capacidad *buffer* que hubiese retrasado la aparición de fatiga¹²⁹.

En un intento por comprobar el efecto del HIIT sobre el rendimiento deportivo, Smith y cols.⁷⁴ comprobaron que dicha metodología de entrenamiento presentaba resultados beneficiosos sobre el $VO_{2\max}$, si bien éstos a su vez fueron significativamente superiores cuando el período de entrenamiento de 6 semanas de duración se acompañó con una suplementación con β -alanina a una dosis creciente de 3 a 6 g/d. En este estudio, sin embargo, las mejoras provocadas en el VT no fueron estadísticamente diferentes a las logradas mediante la ingesta de placebo⁷⁴.

En esta misma línea, recientemente se ha valorado el efecto sobre una prueba de 2.000 m en remoergómetro en un grupo de remeros altamente entrenados que se suplementaron con 6-7 g (80 mg/kg)/d de β -alanina durante un período de 4 semanas⁷². En dicho estudio se observó una mejora del rendimiento en 2,9 segundos, si bien, los resultados a pesar de no mostrar una diferencia estadísticamente significativa, sí que mostraron una tendencia a la significación ($p = 0,55$). Seguramente, el pequeño tamaño de la muestra pudiese haber condicionado los resultados ($n = 7$). No obstante, los remeros que se suplementaron obtuvieron tiempos estadísticamente superiores en 2 de los parciales intermedios (750 y 1.000 m) lo que pudo ser debido a una mayor capacidad de regular el pH, dado que la disminución del mismo fue inferior en el grupo de intervención⁷².

Por otro lado, en una prueba hasta el agotamiento a una intensidad relativa del 90% o al 100% del $VO_{2\max}$, no se ha observado ningún efecto de mejora del rendimiento en un grupo de sujetos físicamente activos tras seguir un protocolo de suplementación de 4 semanas con una dosis de 4,8 g/d¹⁰¹.

Podemos ver cómo los deportistas de modalidades de resistencia aeróbica pudieran beneficiarse mediante la suplementación con β -alanina, ya que, podría existir una mejora en el VT^{96,126,127}, así como una disminución de la fatiga neuromuscular, siendo posible que exista una mejora a intensidades máximas. Del mismo modo, debemos pensar que, en este tipo de modalidades deportivas, muchas veces el éxito se debe a la capacidad de los deportistas de poder realizar un último esfuerzo con un alto componente anaeróbico. Sirva de ejemplo los últimos 400 m de la final de los 10.000 m de los Juegos Olímpicos de Londres 2012, donde el británico Mo Farah ganó la prueba corriendo los últimos 400 m en un tiempo de 54,59 segundos. Es por ello que, resultados como los anteriormente reportados por Van Thienen y cols.⁷⁶ en los que se produce una mejora significativa en la potencia pico y media durante un test de Wingate tras la realización de una prueba a intensidades variables, por encima y por debajo del MLSS, con una duración de 125 minutos, hace que se considere interesante esta suplementación en los deportistas de estas modalidades deportivas donde predomina el metabolismo aeróbico.

Posología

Antes de dar recomendaciones en suplementación deportiva, un aspecto muy importante es considerar la posología de la misma. Para ello, hay que fijarse en posibles efectos adversos, así como considerar la cinética en sangre tras la administración del suplemento nutricional. Con respecto a la cinética de la β -alanina en plasma habría que indicar que los niveles basales se recuperan transcurridas 3 horas y que ésta, ya ha disminuido un 50% con respecto a su valor máximo a los 30-40 minutos posteriores a realizar la ingesta¹⁰. Conocer dichos períodos temporales es muy importante ya que se ha comprobado que en dosis a partir de 10 mg/kg aparecen síntomas leves de parestesia¹³. La parestesia es el principal efecto secundario conocido de la suplementación con β -alanina³ y hace referencia a una sensación de adormecimiento u hormigueo en la piel¹⁰ y, por regla general desaparece 1 hora después de realizar la ingesta¹³. El mecanismo causante se explica por un aumento en la sensibilidad de las neuronas nociceptivas encargadas de transmitir el dolor neuropático^{130,131}. Anecdóticamente, cabe destacar que también se han descrito, junto a parestesia, dolor de garganta como efecto adverso⁴³.

En cualquier caso parece que los síntomas de parestesia, a partir de dosis de 10 mg/kg, se incrementan de manera dosis-dependiente^{13,31} y que, por regla general, desaparece 1 hora después de realizar la ingesta¹³.

Dado que 10 mg/kg se corresponde aproximadamente con 0,8 g y, en base a la cinética de la β -alanina se ha propuesto que la suplementación ideal sería la de ingerir 0,8 g de β -alanina cada 3-4 horas, de modo que la ingesta diaria podría llegar hasta los 4,8-6 g/día¹³ o 50-80 mg/kg/día¹³². Esta posología de ingerir varias dosis repetidas a lo largo del día, tiene un mayor efecto sobre la retención de β -alanina utilizable para la síntesis de carnosina, al disminuir la excreción urinaria de dicho compuesto¹³³. De este modo, este tipo de dosis han demostrado ser eficaces sin producir efectos adversos¹³⁴ y, en términos generales, la suplementación con β -alanina se considera una práctica segura².

Aun así, siguen estudiándose estrategias con objeto de intentar reducir los síntomas de parestesia. En este sentido, no se han observado síntomas de parestesia cuando se ingiere β -alanina en una solución con hidratos de carbono⁷³. En general, se ha sugerido que la administración de β -alanina junto a alimentos, reduce hasta en un 50% las concentraciones máximas en suero, debido a un enlentecimiento del vaciado gástrico¹³. Dado que los síntomas de parestesia se asocian a los valores pico de β -alanina en suero¹², dichas estrategias pueden resultar interesantes. Para finalizar, habría que informar que actualmente se están probando encapsulados de liberación lenta, que se han mostrado eficaces para retrasar los valores pico en plasma, así como disminuir la excreción urinaria y los síntomas de parestesia, lo que se traduce en una mayor tasa de retención y en una práctica más efectiva¹³⁴.

Tabla I
Resumen de estudios que han valorado directamente el rendimiento deportivo tras un período de suplementación con β-alanina

| Cita | Participantes | Grupos experimentales | Duración | Protocolo de suplementación | Test de valoración | Resultados |
|------|---|---|----------|--|---|---|
| 59 | H atletas de 400 ml entrenados (n: 15) | GBA (n: 8) GP (n: 7) | 5 s | GBA: S1-S4: 2,4 g/d BA D28-32: 3,6 g/g BA D33-D35: 4,8 g/d BA | 400 ml 5 x 30 extensiones de piernas TTE al 45% MVIC Concentración de carnosina muscular | 400 ml: mejora en GBA (de 51,11 a 50,36) y GP (de 52,19 a 51,44) (sin diferencias entre grupos) Torque: mejora en 4° serie (6,1%) y 5° serie (3,8%) en GBA Contenido de carnosina muscular se incrementa (47%) en GBA |
| 71 | H remeros altamente entrenados (n:16) | GBA (n: 7) GP (n: 9) | 4 s | GBA: 6-7g/d BA | 2000 m remoergómetro | 2000 m GBA tendencia a mejorar (2,9 seg) GBA mejora tiempo de paso en 750 m (3,6%) y 1000m (2,9%) |
| 72 | H deportistas entrenados (n:21) | GBA (n: 10) GP (n: 11) | 5 s | GBA: S1: 4g/d BA S4: 6g/d BA | GXT TTE 110% VO _{2max} TTE 140% VO _{2max} | Sin mejora en ninguno de los tests |
| 73 | H entrenados. (n:33) | GBACR (n: no definida) GCR (n: no definida) GP (n: no definida) | 10 s | GBACR: 10,5 g/d CR + 3,2 g/d BA GCR:10,5 g/d CR | 1 RM en sentadilla y press de banca Test de Wingate Test 20 CMJ consecutivos Composición corporal Hormonas (GH, IGF-1, testosterona y cortisol) | 1 RM en sentadilla y press de banca mejora en GBACR y en GCR. Testosterona se incrementa en GCR (de 20,0 nmol/L a 24,4 nmol/L). Incremento de masa magra (1,74%) y disminución de masa grasa (-1,21%) en GBACR vs GP |
| 74 | H deportistas universitarios recreacionales (n: 36) | GBA (n: 18) GP (n:18) | 6 s | GBA: S1-S4: 6 g/d BA S4-S6: 3 g/d BA | Pre – Mid -Post GXT Composición corporal | VO ₂ máx en Mid vs Pre-Mid mejoró en GBA (3,28 a 3,52 l/min) y GP (3,25 a 3,56 l/min). VO ₂ máx Mid-Post mejoró en GBA (3,52 a 3,61 l/min) TTE en GXT Mid-Post mejoró (de 1340 a 1386 seg) en GBA |
| 76 | H ciclistas moderadamente entrenados (n: 17) | GBA (n: 9) GP (n: 8) | 8 s | GBA: S1-S2: 2 g/d BA S3-S4: 3 g/d BA S4-S8: 4 g/d BA | Test incremental intermitente: 110 min (TII) + 10 min 100% MLSS (TMLSS) + 5 min 50% MLSS + Wingate | 10 MLSS: potencia media mejora (de 482 a 535 W) en GBA Wingate: potencia media mejora (de 693 a 727 W) y potencia pico mejora (993W a 1105W) en GBA |
| 95 | H y M altamente entrenados (n:18) | GBA (n: 9) GP (n: 9) | 5 s | GBA: S1: 3,2 g/d BA S2-S5: 6,4 g/d BA | 100 m natación estilo libre 200 m natación estilo libre | 200 m: GBA mejora (2%) 100 m: GBA tendencia a la mejora (2,1%) |
| 96 | H no entrenados (n: 51) | GBA (n: 12) GCR (n: 12) GCR+BA (n: 14) GP (n: 13) | 4 s | GBA: 1,2 g/d BA GCR: 5,25 g/d CR GCR+BA: 1,2 g/d BA +5,25 g/d CR | PWCFT | PWCFT: mejora 18,5 W en GBA |

Tabla I (cont)
Resumen de estudios que han valorado directamente el rendimiento deportivo tras un periodo de suplementación con β -alanina

| Cita | Participantes | Grupos experimentales | Duración | Protocolo de suplementación | Test de valoración | Resultados |
|------|--|--|----------|--|--|--|
| 97 | H competidores en judo y jiu-jitsu (n: 37) | GBA (n: 10) GBS (n: 9) GBA+BS (n: 9) GP (9) | 4 s | GBA: 6,4 g/d BA GBS: 500 mg/kg/d BS GBABS: 6,4 g/d BA + 500 mg/kg/d BS. GP | 4 x Wingate (miembros superiores). R: 3 min | Potencia media mejora en GBA en el 2º Wingate (6,5%), en el 3º Wingate (10,5) y en el 4º (7,15%) GBS mejora en el 4º Wingate (9,4%). GBABS mejora en el 1º Wingate (8,6%), 2º Wingate (12,5%), 3º Wingate (14,2%) y 4º Wingate (20,3%) Potencia pico mejoró en GBS en el 4º Wingate (13,7%). GBABS mejoró en el 2º Wingate (15,3%), 3º Wingate (18,3%) y en 4º Wingate (22,3%) |
| 100 | H físicamente activos. (n:13) | GBA (n:7) GP (n:6) | 4 s | GBA: 6,4 g/d BA | TTE 45% MVIC mejora un 13,2% (76,9 a 86,6 seg) | TTE 45% MVIC mejora (13,2%) en GBA |
| 101 | H y M físicamente activos (n: 50) | GBA (n: 26) GP (n: 24) | 4 s | GBA: 4,8 g/d BA | GXT Test VO _{2max} TTE 110% VO _{2max} TTE 100% VO _{2max} TTE 90% VO _{2max} | Sin mejora en ninguno de los tests |
| 102 | H universitarios deportistas (n: 21) | GBA (n: 11) GP (n: 10) | 5 s | GBA: 4 g/d BA | GXT TTE 115% VO _{2max} TTE 140% VO _{2max} | Sin mejora en ninguno de los tests |
| 103 | H y M nadadores de élite (n:32) | GBA (n: 19) GP (n: 13) | 10 s | GBA: S1-S4: 4,8 g/d BA. S5-S10: 3,2 g/d BA | Tiempo en competición | Tiempo en competición tiende a mejorar (0,4%) en S4 en GBA |
| 107 | H físicamente activos (n:14) | GBA (n: 7) GP (n: 7) | 4 s | GBA: D1-D2: 2,4 g/d BA D3-D4: 3,6 g/d BA D5-S4: 4,8 g/d BA | GXT 6 min 50% entre VT y VO _{2max} | Diferencias en pH por descenso (0,015) en GBA e incremento en GP (0,012) No se obtienen mejoras en la VE ni Vo2 máx |
| 113 | H entrenados (n: 20) | GBA (n:10) GBS (n: 10) GBABS (n: 10) GP (n: 10) | 4 s | GBA: 6,4 g/d BA GBS: 0,5 g/d BS (2 últimos días) GBABS: 6,4 g/d BA + 0,5 g/d BS (2 últimos días) | TTE 110% VO _{2max} | TTE 110%: mejora 16,2% en GBABS y 12,1% en GBA. Mejora estadísticamente significativa en GBABS vs GBA TWD: mejora (8.1) en GBABS |

Tabla I (cont)
Resumen de estudios que han valorado directamente el rendimiento deportivo tras un período de suplementación con β-alanina

| Cita | Participantes | Grupos experimentales | Duración | Protocolo de suplementación | Test de valoración | Resultados |
|------|--|---|----------|--|---------------------------|--|
| 114 | H Ciclistas altamente entrenados (n: 14) | GBA (n: 7) GBS (n: 7) GBABS (n: 7) GP (n: 7) | 4 s | GBA: 65 mg/kg/d BA GBS: 0,3 g/kg BS GBABS: 65 mg/kg/d BA + 0,3 g/kg BS | T _{max} 4 min | Potencia media: mejora en GBS (3,1%) y GBABS (3,3%) (sin diferencia entre grupos) Total work: mejora en GBS (3%) y GBABS (3,2%) (sin diferencia entre grupos) |
| 126 | M (n: 22) | GBA (n: 11) GP (n: 11) | 4 s | GBA: S1: 3,2 g/d BA S2-S4: 6,4 g/d BA | Test GXT con EMG PWCFT | VT mejora (de 1,30 a 1,51 l/min) en GBA PWCFT mejora (de 113, 64 a 130,0 W) en GBA |
| 129 | H activos (n: 39) | GBA (n: 20) GP (n: 19) | 6 s | GBA: 2 g/d BA | GXT | VO _{2max} mejora (de 2.62 a 2,79 l/min) TTE en GXT mejora (de 923,6 a 992,4 seg) en GBA |

BA: beta alanina; BS: bicarbonato sódico; CV: critical velocity; d: día; EMG: electromiografía; g: gramos; GBA: grupo de beta alanina; GBS: grupo bicarbonato sódico; GXT: prueba de esfuerzo máxima incremental; h: hora; min: minutos; ml: metros lisos; MVIC: maximal voluntary isometric contraction; PE: post-ejercicio; PWCFT: Physical Working Capacity at fatigue Threshold; R: recuperación; s: semana; seg: segundos; T_{max}: test a máxima intensidad; TTE: tiempo hasta el agotamiento; TWD: Total Work done; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno; VT: ventilatory threshold. Todos los resultados presentados reflejan diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05). El término tendencia a la significación hace referencia a 0,5 > p < 0,15.

Limitaciones del estudio

La principal limitación del presente trabajo ha estado relacionado con el número de artículos seleccionados. Tras analizar todos los resúmenes que se encontraron una vez aplicada la estrategia de búsqueda, se obtuvo un total de 44 artículos de intervención que cumplían con los criterios de inclusión marcados. Sin embargo, no se pudo acceder al texto completo de 26 investigaciones, motivo por el cual se incorporaron 18 artículos al presente trabajo.

Conclusiones

Las funciones de la carnosina en el organismo son fundamentales y están relacionadas con su acción antioxidante y antiinflamatoria, así como un posible efecto neuroprotector y *antiaging*. Es por ello, que situaciones de déficit se han observado tanto en sujetos con diabetes tipo II, Alzheimer o autismo. Sin embargo, las funciones más importantes relacionadas con el rendimiento deportivo podrán ser las relacionadas con la capacidad de actuar como un potente tampón a nivel muscular, así como por la mejora en la sensibilidad del calcio a nivel de la fibra muscular.

La disponibilidad de β-alanina se ha identificado como el factor limitante de la síntesis de carnosina. Por ello, la suplementación nutricional con β-alanina es efectiva para aumentar las reservas musculares de carnosina. No obstante, hay que destacar a otros factores como el género, entrenamiento, entorno hormonal y, sobre todo, tipo de fibras musculares, que también determinarán el contenido de carnosina muscular.

Por cualquiera de sus funciones, la suplementación con β-alanina puede tener un efecto beneficioso sobre la capacidad anaeróbica láctica, especialmente en protocolos intermitentes de alta intensidad, o en aquellos donde el desarrollo de la fuerza sea un componente importante en relación al rendimiento. De este modo, aquellas modalidades deportivas de muy corta duración, también podrían verse favorecidas seguramente por una mejora en la capacidad de realizar un mayor volumen de entrenamiento a una mayor intensidad. Los deportistas de resistencia aeróbica, también podrían ver incrementado su rendimiento y beneficiarse de una suplementación a este nivel, ya que, además de un posible efecto beneficioso sobre el umbral anaeróbico, podría mejorar la capacidad anaeróbica láctica, la clave del éxito en la mayoría de competiciones.

La suplementación con β-alanina es una práctica segura. En cuanto a la posología se debería recomendar una dosis de 6,4 g/d espaciada en 4-8 tomas diarias de 0,8-1,6 g a intervalos de 3 horas, con objeto de minimizar los síntomas de parestesia.

En cuanto a futuras investigaciones, todos los diseños cruzados deberían de tener en cuenta el tiempo de lavado, siendo preciso esperar, al menos, 9 o 10 semanas. También, destacar que sería interesante realizar

protocolos de valoración intermitentes, con objeto de poder determinar el efecto de la suplementación en situaciones de un pH más bajo.

Referencias

1. Matthews MM, Traut TW. Regulation of N-carbamoyl-beta-alanine amidohydrolase, the terminal enzyme in pyrimidine catabolism, by ligand-induced change in polymerization. *J Biol Chem* 1987; 262: 7232-7.
2. Artioli GG, Gualano B, Smith A, Stout J, Lancha AH. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(6): 1162-73.
3. Sale C, Saunders B, Harris RC. Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* 2010; 39: 321-33.
4. Culbertson JY, Kreider RB, Greenwood M, Cooke M. Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. *Nutrients* 2010; 2: 75-98.
5. Bakardjiev A, Bauer K. Transport of beta-alanine and biosynthesis of carnosine by skeletal muscle cells in primary culture. *Eur J Biochem* 1994; 225: 617-23.
6. Bauer K, Schulz M. Biosynthesis of carnosine and related peptides by skeletal muscle cells in primary culture. *Eur J Biochem* 1994; 219: 43-7.
7. Dunnett M, Harris R. Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Vet J* 1990; 30: 499-504.
8. Bakardjiev A. Biosynthesis of carnosine in primary cultures of rat olfactory bulb. *Neurosci Lett* 1997; 227: 115-8.
9. Bonfanti L, Peretto P, de Marchis S, Fasolo A. (1999). Carnosine related dipeptides in the mammalian brain. *Prog Neurobiol* 59, 333-353.
10. Hoffman JR, Emerson NS, Stout JR. β -alanine supplementation. *Curr Sports Med Reports* 2012; 11(4): 189-96.
11. Skaper SD, Das S, Marshall FD. Some properties of a homocarnosine-carnosine synthetase isolated from rat brain. *J Neurochem* 1973; 21: 1429-45.
12. Sterlingwerff T, Decombaz J, Harris RC, Boesch C. Optimizing human *in vivo* dosing and delivery of β -alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids* 2012; 43(1): 57-65.
13. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, et al. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids* 2006; 30: 279-89.
14. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. *J Appl Physiol* 1986; 60: 472-8.
15. Quinn PJ, Boldyrev AA, Formazuyk VE. Carnosine: its properties, functions and potential therapeutic applications. *Mol Aspects Med* 1992; 13: 379-444.
16. Abe H. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochem* 2000; 65: 757-65.
17. Parkhouse WS, McKenzie DC, Hochachka PW, Ovalle WK. Buffering capacity of deproteinized human vastus lateralis muscle. *J Appl Physiol* 1985; 58: 14-7.
18. Parker CJJ, Ring E. A comparative study of the effect of carnosine on myofibrillar-ATPase activity on vertebrate and invertebrate muscles. *Comp Biochemistry and Physiology* 1970; 37: 413-9.
19. Batrukova MA, Rubtsov AM. Histidine-containing dipeptides as endogenous regulators of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels. *Biochim Biophys Acta* 1997; 1324: 142-50.
20. Dutka TL, Lamb GD. Effect of carnosine on excitation-contraction coupling in mechanically-skinned rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 2004; 25: 203-13.
21. Lamont C, Miller DJ. Calcium sensitizing action of carnosine and other endogenous imidaxoles in chemically skinned striated muscle. *J Physiol* 1992; 454: 421-34.
22. Rubtsov AM. Molecular mechanisms of regulation of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels (ryanodine receptors), muscle fatigue, and Severin's phenomenon. *Biochem* 2001; 66: 1132-43.
23. Begum G, Cunliffe A, Leveritt M. Physiological role of carnosine in contracting muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005; 15: 493-514.
24. Dutka TL, Lamboley CR, McKenna MJ, Murphy RM, Lamb GD. Effects of carnosine on contractile apparatus Ca²⁺ sensitivity and sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release in human skeletal fiber. *J Appl Physiol* 2012; 112: 728-36.
25. Boldyrev AA. Does carnosine possess direct antioxidant activity? *Int J Biochem* 1993; 25: 1101-7.
26. Boldyrev AA. Carnosine: new concept for the function of an old molecule. *Biochem* 2012; 77: 313-326.
27. Mastaloudis A, Leonard SW, Traber MG. Oxidative stress in athletes during extreme endurance exercise. *Free Radic Biol Med* 2001; 31: 911-22.
28. Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 1989; 7: 207-34.
29. Boldyrev AA. Protection of proteins from oxidative stress: a new illusion or a novel strategy? *Ann New York Acad Sci* 2005; 1057: 193-205.
30. Gualano B, Everaert I, Stegan S, Artioli GG, Taes Y, Roschel H, et al. Reduced muscle carnosine content in type 2, but not in type 1 diabetic patients. *Amino Acids* 2011; 43(1): 21-4.
31. Caruso J, Charles J, Unruh K, Giebel R, Learmonth L, Potter W. Ergogenic Effects of β -Alanine and Carnosine: Proposed Future Research to Quantify Their Efficacy. *Nutrients* 2012; 4: 585-601.
32. Hipkiss AR, Cartwright SP, Bromley C, Gross SR, Bill RM. Carnosine: can understanding its actions on energy metabolism and protein homeostasis inform its therapeutic potential? *Chem Cent J* 2013; 7(1): 38.
33. Suzuki Y, Osamu I, Mukai N, Takahashi H, Takamatsu, K. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jap J Physiol* 2002; 52: 199-205.
34. Nagasawa T, Yonekura T, Nishizawa N, Kitts DD. *In vitro* and *in vivo* inhibition of muscle lipid and protein oxidation by carnosine. *Mol Cell Biochem* 2001; 225: 29-34.
35. Fonteh AN, Harrington RJ, Tsai A, Liao P, Harrington MG. Free amino acid and dipeptide changes in the body fluids from Alzheimer's disease subjects. *Amino Acids* 2007; 32: 213-24.
36. Boldyrev AA, Stvolinsky SL, Fedorova TN, Suslina ZA. Carnosine as a natural antioxidant and geroprotector: from molecular mechanisms to clinical trials. *Rejuvenation Res* 2010; 13: 156-8.
37. Chez MG, Buchanan CP, Aimonovitch MC, Becker M, Schaefer K, Black C, et al. Double-blind, placebo-controlled study of L-carnosine supplementation in children with autistic spectrum disorders. *J Child Neurol* 2002; 17(11): 833-7.
38. Del Favor S, Roschel H, Solis M, Hayashi AP, Artioli GG, Otaduy MC. Beta-Alanine (Carnosyni) supplementation in elderly subjects (60Y80 years): effects on muscle carnosine content and physical capacity. *Amino Acids* 2012; 43(1): 49-56.
39. Hipkiss AR. On the enigma of carnosine's anti-ageing actions. *Exp Gerontol* 2008; 44(4): 237-42.
40. Stout JR, Graves BS, Smith AE, Hartman MJ, Cramer JT, Beck TW, et al. The effect of beta-alanine supplementation on neuromuscular fatigue in elderly (55-92 years): a double-blind randomized study. *J Int Soc Sports Nutr* 2008; 5: 21.
41. Mannion AF, Jakeman PM, Dunnett M, Harris RC, William PL. Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *Eur J Appl Physiol* 1992; 64: 47-50.

42. Derave W, Everaert I, Beckman S, Baguet A. Muscle carnosine metabolism and β -alanine supplementation in relation to exercise and training. *Sports Med* 2010; 40: 247-63.
43. Penafiel R, Ruzafa C, Monserrat F, Cremades A. Gender related differences in carnosine, anserine and lysine content of murine skeletal muscle. *Amino Acids* 2004; 26: 53-8.
44. Dunnett M, Harris RC. High-performance liquid chromatographic determination of imidazole dipeptide, histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in equine and camel muscle and individual muscle fibres. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 1997; 688, 47-55.
45. Sewell DA, Harris RC, Marlin DJ, Dunnett M. Estimation of the carnosine content of different fibre types in the middle gluteal muscle of the thoroughbred horse. *J Physiol* 1992; 455: 447-53.
46. Harris RCD, Greenhaff PL. Carnosine contents in individual fibres of human vastus lateralis muscle. *J Sports Sci* 1998; 16: 639-43.
47. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Sale C, Boobis LH, et al. Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids* 2007; 32: 225-33.
48. Kendrick IP, Kim HJ, Harris RC, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effect of 4 weeks β -alanine supplementation and isokinetic training on carnosine concentrations in type I and II human skeletal muscle fibres. *Eur J Appl Physiol* 2009; 106: 131-8.
49. Tallon MJ, Harris RC, Boobis LH, Fallowfield JL, Wise JA. The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 725-9.
50. Harris RC, Wise JA, Price KA, Kim HJ, Kim CK, Sale C. Determinants of muscle carnosine content. *Amino Acids* 2012; 43: 5-12.
51. Stellingwerff T, Anwander H, Egger A, Buehler T, Kreis R, Decombaz J, et al. Effect of two β -alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids* 2012; 42(6): 2461-72.
52. Gonzales GF. Serum testosterone levels and excessive erythrocytosis during the process of adaptation to high altitudes. *Asian J Androl* 2013; 15: 368-74.
53. Kon M, Ikeda T, Homma T, Akimoto T, Suzuki Y, Kawahara T. Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(7): 1279-85.
54. Suzuki T, Ito O, Takahashi H, Takamatsu K. The effect of sprinting training on skeletal muscle carnosine in humans. *Int J Sport Health Sci* 2004; 2: 105-10.
55. Gardner ML, Illingworth KM, Kelleher J, Wood D. Intestinal absorption of the intact peptide carnosine in man, and comparison with intestinal permeability to lactulose. *J Physiol* 1991; 439: 411-22.
56. Harris RC, Jones G, Hill CH, Kendrick IP, Boobis L, Kim C, et al. The carnosine content of V Lateralis in vegetarians and omnivores. *FASEB J* 2007; 21: 769-20.
57. Stear SJ, Castell LM, Burke LM, Spriet LL. *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* 2010; 44: 77-8.
58. Baguet A, Reyngoudt H, Pottier A, Everaert I, Callens S, Achten E, et al. Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *J Appl Physiol* 2009; 106: 837-42.
59. Derave W, Ozdemir MS, Harris RC, Pottier A, Reyngoudt H, Koppo K, et al. β -alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol* 2007; 103: 1736-43.
60. Bembem M, Lamont HD. Creatine Supplementation and exercise performance. *Sports Med* 2005; 35(2): 107-25.
61. Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem* 2003; 244: 89-94.
62. Casey A, Constantini-Teodosiu D, Howell S, Hultman E, Greenhaff PL. Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *Am J Physiol* 1996; 271: 31-7.
63. Volek JS, Kraemer WJ. Creatine supplementation: Its effect on human muscular performance and body composition. *J Strength Cond Res* 1996; 10(3): 200-10.
64. Burke LM, Chilibeck PD, Parise GC, Andow DG, Mahoney D, Tarnopolsky M. Effect of creatine and Weight Training on Muscle Creatine and performance in Vegetarians. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 946-1045.
65. Mesa JLM, Ruiz JR, González-Gross M, Gutiérrez A, Castillo MJ. Oral creatine supplementation and skeletal muscle metabolism in physical exercise. *Sports Med* 2002; 32: 903-44.
66. Margaria R, Cerretelli P, DiPrampiero PE, Massari C, Torrelli G. Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J Appl Physiol* 1963; 18: 371-7.
67. González R, García D, Herrero JA. La suplementación con creatina en el deporte y su relación con el rendimiento deportivo. *Rev Int Med Act Fis Dep* 2003; 3(12): 242-59.
68. Dorado C, Sanchis J, López-Calbet JA. Efectos de la administración de suplementos de creatina sobre el rendimiento. *Arch Med Dep* 1997; 59: 213-21.
69. Morán M. Tipos de fibras musculares. En: Chicharro JL, Fernández A, editores. *Fisiología del Ejercicio*. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2008. p. 91-7.
70. Skare OC, Skadberg O, Wisnes AR. Creatine supplementation improves sprint performance in male sprinters. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 96-102.
71. Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. Effect of Beta-Alanine Supplementation on 2,000-m Rowing-Ergometer Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2013; 23: 336-43.
72. Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. Effect of beta alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *J Strength Cond Res* 2013; 27(12): 3450-60.
73. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Mangine G, Faigenbaum A, Stout J. Effect of creatine and β -alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16: 430-46.
74. Smith AE, Walter AA, Graef JL, Kendall KL, Moon JR, Lockwood CM, et al. Effects of β -alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr* 2009; 6: 5.
75. Bex T, Chung W, Baguet A, Stegen S, Stautemas J, Achten E, Derave W. Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles. *J Appl Physiol* 2014; 116: 204-9.
76. Van Thienen R, Van Proeyen K, Van Eynde B, Lefere T, Hespel P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 898-903.
77. Hobson RM, Saunders B, Ball G, Harris RC, Sale C. Effects of beta-alanine supplementation on exercise performance: a review by meta-analysis. *Amino Acids* 2012; 43: 25-37.
78. Domínguez R. Necesidades de hidratos de carbono en el deportista de resistencia. *Mot Hum* 2012; 13(1): 60-6.
79. Hultman E, Sahlin K. Acid-base balance during exercise. *Exer Sports Sci Rev* 1980; 8: 41-128.
80. Wallimann T, Tokarska-Schlattner M, Schlattner U. The creatine kinase system and pleiotropic effects of creatine. *Amino Acids* 2011; 40: 1271-96.
81. Osnes JB, Hermansen L. Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *J Appl Physiol* 1972; 32: 59-63.
82. Harris RC, Edwards RH, Hultman E, Nordesjo LO, Ny Lind B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch* 1976; 367, 137-42.
83. Sahlin K, Harris RC. The creatine kinase reaction: a simple reaction with functional complexity. *Amino Acids* 2011; 40(5): 1363-7.
84. Trivedi B, Daniforth WH. Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase. *J Biol Chem* 1966; 241: 4110-2.
85. Donaldson SKB, Hermansen L. Differential direct effects of H^+ and Ca^{2+} activated force of skinned fibres from the soleus,

- cardiac, adductor magnus muscle of rabbits. *Pflugers Arch* 1978; 376: 55-65.
86. Fabiato A, Fabiato F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol* 1978; 276: 233-5.
 87. Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sc*, 1997; 15: 247-56.
 88. Price M, Moss P. The effects of work:rest duration on physiological and perceptual responses during intermittent exercise and performance. *J Sports Sci* 2007; 25: 1613-21.
 89. Swank AM, Robertson RJ. Effect of induced alkalosis on perception of exertion during exercise recovery. *J Strength Cond Res* 2002; 16: 491-9.
 90. Taylor AD, Bronks R, Bryant AL. The relationship between electromyography and work intensity revisited: A brief review with references to lactic acidosis and hyperammonia. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1997; 37: 387-98.
 91. Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74, 49-94.
 92. Hermansen L. Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. *Ciba Found Symp* 1981; 82: 75-88.
 93. Hermansen L, Osnes JB. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol* 1972; 32: 304-8.
 94. Messonnier L, Kristensen M, Juel C, Denis C. Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol* 2007; 102(5): 1936-44.
 95. De Salles V, Roschel H, de Jesus F, Sale C, Harris RC, Solis MY, et al. The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2013; 38: 525-32.
 96. Stout JR, Cramer JT, Mielke M, O'Kroy JA, Torok D, Zoeller RF. Effects of twenty eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *J Strength Cond Res* 2006; 20: 928-31.
 97. Tobias G, Benatti FB, de Salles V, Roschel H, Gualano B, Sale C, et al. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids* 2013; 45: 309-317.
 98. Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids* 2008; 34: 547-554.
 99. Juel C. Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiol Scand* 1998; 162: 359-66.
 100. Sale C, Hill CA, Ponte J, Harris RC. β -alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. *J Int Soc Sports Nutr* 2012; 9: 26.
 101. Smith-Ryan AE, Fukuda DH, Stout JR, Kendall KL. High velocity intermittent running: effects of beta-alanine supplementation. *J Strength Cond Res* 2012; 26(10): 2798-805.
 102. Jagim AR, Wright GA, Brice AG, Doberstein ST. Effects of beta-alanine supplementation on sprint endurance. *J Strength Cond Res* 2013; 27(2): 526-32.
 103. Chung W, Shaw G, Anderson ME, Pyne DB, Saunders PU, Bishop DJ, et al. Effect of 10 Week Beta-Alanine Supplementation on Competition and Training Performance in Elite Swimmers. *Nutrients* 2012; 4: 1441-53.
 104. Edge J, Hill-Haas S, Goodman C, Bishop D. Effects of resistance training on H⁺ regulation, buffer capacity, and repeated sprints. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38: 2004-11.
 105. Schott J, McCully K, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. II. Short versus long isometric contractions. *Eur J Appl Physiol Occ Physiol* 1995; 71: 337-41.
 106. Belfry GR, Raymer GH, Marsh GD, Paterson DH, Thompson RT, Thomas SG. Muscle metabolic status and acid-base balance during 10-s work: 5-s recovery intermittent and continuous exercise. *J Appl Physiol* 2012; 113: 410-417.
 107. Baguet A, Koppo K, Pottier A, Derave W. Beta-Alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108: 495-503.
 108. McMahon S, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J Sci Med Sport* 1998; 1: 219-27.
 109. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Med* 2001; 31: 409-25.
 110. Carr AJ, Hopkins WG, Gore CJ. Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: a meta-analysis. *Sports Med* 2011; 41: 801-14.
 111. McNaughton L, Siegler J, Midgley A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. *Curr Sports Med Reports* 2008; 7: 230-6.
 112. Requena B, Zabala M, Padial P, Ferliche B. Sodium bicarbonate and sodium citrate: ergogenic aids? *J Strength Cond Res* 2005; 19: 213-24.
 113. Sale C, Saunders B, Hudson S, Wise JA, Harris RC, Sunderland CD. Effect of β -Alanine Plus Sodium Bicarbonate on High-Intensity Cycling Capacity. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43(10): 1972-8.
 114. Bellinger PMS, Howe ST, Shing CM, Fell JW. Effect of Combined A-Alanine and Sodium Bicarbonate Supplementation on Cycling Performance. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44(8): 1545-51.
 115. Viana-Montaner BH, Gómez-Puerto JR, Centeno-Prada R, Beas-Jiménez JD, Melero-Romero D, Da Silva-Grigoletto ME. Comparación del VO₂ máx y del tiempo hasta el agotamiento en dos modalidades de ejercicio en triatletas. *Rev And Med Dep* 2009; 2(1): 7-11.
 116. Berthon P, Fellman N, Bedu M, Beaune B, Dabonneville M, Coudert J, et al. A 5-min running test as a measurement of maximal aerobic velocity. *Eur J Appl Physiol* 1997; 75: 233-8.
 117. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 70-84.
 118. Landers GJ, Blanksby BA, Ackland TR, Smith D. Morphology and performance of world championship triathletes. *Ann Hum Biol* 2000; 27: 387-400.
 119. Legaz A, Easton R. Changes in performance, skinfold thicknesses, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *Br J Sports Med* 2005; 39: 851-5.
 120. Dennis SC, Noakes T. Advantages of a smaller body mass in humans when distance-running in warm, humid condition. *Eur J Appl Physiol* 1999; 79: 280-4.
 121. Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, Wilson G, Lambert MI, Noakes TD, et al. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch Eur J Physiol* 2000; 441: 359-67.
 122. Burnley M, Jones AM. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sport Sci* 2007; 7(2): 63-79.
 123. Powers SK, Jackson MJ. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol Rev* 2008; 88: 1243-76.
 124. De Vries HA, Tichy MW, Houh TJ, Smyth KD, Ticky AM, Housh A. A method for estimating physical working capacity at the fatigue threshold (PWC). *Ergonomics* 1987; 30: 1195-204.
 125. De Vries HA, Housh TJ, Johnson GO, Evans SA, Tharp GD, Housh DJ, et al. Factors affecting the estimation of physical working capacity at the fatigue threshold. *Ergonomics* 1990; 33: 25-33.
 126. Stout JR, Cramer JT, Zoeller RF, Torok D, Costa P, Hoffman JR, et al. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids* 2007; 32: 381-6.
 127. Zoeller RF, Stout JR, O'Kroy JA, Torok DJ, Mielke M. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids* 2007; 33: 505-10.
 128. McClaren DP, Gibson H, POarry-Billings M, Edwards RHT. A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exerc Sport Sci Rev* 1989; 17: 29-68.

129. Ghiasvand R, Askari G, Malekzadeh J, Hajishafiee M, Daneshvar P, Akbari F, et al. Effects of Six Weeks of β -alanine Administration on VO₂ max, Time to Exhaustion and Lactate Concentrations in Physical Education Students. *Int J Prev Med* 2012; 3(8): 559–63.
130. Crozier RA, Ajit SK, Kaftan EJ, Pausch MH. MrgD activation inhibits CNQ/M-currents and contributes to enhanced neuronal excitability. *J Neurosci*, 2007; 27: 4492–6.
131. Tiedje KE, Stevens K, Barnes S, Weaver DF. Beta-alanine as a small molecule neurotransmitter. *Neurochem Int* 2010; 57(3): 177–88.
132. Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Ross R, Kang J, Stout JR, et al. Short-duration β -alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutr Res* 2008; 28: 31-5.
133. Harris RC, Glenys AJ, Hyo JK, Kim CK, Price KA, Wise JA. Changes in muscle carnosine of subjects with 4 weeks supplementation with a controlled release formulation of betaalanine (Carnosyni), and for 6 weeks post. *FASEB J* 2009; 23: 599.
134. Decombaz J, Beaumont M, Vuichoud J, Bouisset F, Stellingwerff T. The effect of slow-release Aalanine on absorption kinetics and paresthesia. *Amino Acids* 2012; 43(1): 67-76.