



SUPLEMENTACIÓN CON BETA-ALANINA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN ESFUERZOS AERÓBICOS INTENSIVOS.

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el
Deporte Curso académico 2014-2015

Alumno: Carlos Gosalbez Tirado

Tutor académico: Raúl López Grueso

Índice

CONTEXTUALIZACIÓN	1
PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA).....	3
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	3
SELECCIÓN DE ESTUDIOS	3
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE DATOS.....	3
LISTA DE DATOS.....	4
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS	6
DOSIS.....	7
DISCUSIÓN.....	7
LIMITACIONES	8
EVIDENCIAS ACTUALES.....	8
BENEFICIOS POTENCIALES.....	9
PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	10
BIBLIOGRAFÍA.....	11



CONTEXTUALIZACIÓN

La carnosina (b-alanil-L-histidina) es un dipéptido citoplasmático que se encuentra en altas concentraciones en el músculo esquelético y en el centro del sistema nervioso. Se forma principalmente en el tejido muscular y cerebral por la unión de histidina y beta alanina en una reacción catalizada por la carnosina sintasa. La concentración de carnosina tiene grandes variaciones en cada grupo muscular, incluso entre las diferentes fibras musculares del mismo músculo (Davey 1960). En humanos, las concentraciones medias son $17.5 \pm 4.8 \text{ mmol kg}^{-1} \text{ dm}$ en mujeres y $21.3 \pm 4.2 \text{ mmol kg}^{-1} \text{ dm}$ en hombres (Mannion, Jakeman, Dunnett, Harris, William PL, 1992), también se observó que las concentraciones más altas se encontraban en las fibras de contracción rápida (Harris, Dunnett, Greenhaff, 1998). En estudios con animales podemos observar que las especies que tienen altas concentraciones de carnosina son aquellas cuyos músculos están expuestos a frecuentes ataques de hipoxia, como las ballenas, o aquellos que dependen de ejercicio anaeróbico para la supervivencia, como la caza o escapar de animales (Abe 2000), este alto contenido se ha demostrado en algunas especies animales que realizan esfuerzos veloces y en seres humanos (Dunnett y Harris 1997; Harris, Marlin, Dunnett, Snow & Hultman, 1990).

Como hemos visto anteriormente, las concentraciones más altas de carnosina se encontraban en las fibras rápidas las cuáles son las que experimentan las mayores concentraciones de iones de hidrógeno (H), produciendo la acidosis (McKenna, 1992). Esta acidosis influye de manera clara en la fatiga muscular dado que las demandas metabólicas del ejercicio de alta intensidad son cubiertas predominantemente mediante la degradación anaeróbica de la glucosa, este proceso produce ácido láctico, por lo que ocurre el consecuente descenso del pH de los músculos que se ejercitan (Edington et al., 1976). Aunque otros han sugerido que la acumulación de H^+ es poco probable que sea la principal causa de la fatiga de corta duración (<30s) de ejercicio máximo (Bogdanis, Nevill, Lakomy & Boobis, 1998). Sin embargo, la acidosis interfiere en varios procesos metabólicos que se traducirán en la reducción de fuerza y en fatiga (Spriet, Lindinger, McKelvie, Heigenhauser & Jones, 1989). Más específicamente, la acumulación de H^+ en el músculo se ha demostrado que interrumpe la síntesis de fosfocreatina (Harris, Edwards, Hultman, Nordesjo & Nylind, 1976), inhibe la glucólisis (Trivedi y Daniforth, 1966) y perturba el funcionamiento de la maquinaria contráctil muscular (Donaldson y Hemansen, 1978; Fabiato y Fabiato, 1978).

Esto sugiere que el tamponamiento del pH es una función fisiológica clave y que el aumento de concentraciones de carnosina aumentaría la capacidad tamponadora de los músculos significativamente (Baguet, Bourgois, Vanhee, Achten & Derave, 2010), lo cual contribuye a la regulación del pH intracelular, con lo que durante el ejercicio mejoraría potencialmente la capacidad de realizar esfuerzos a altas intensidades y, por lo tanto, el aumento del rendimiento (Sale, Saunders & Harris, 2010). De manera que, cualquier estrategia para aumentar la capacidad del músculo de amortiguar H^+ será beneficioso para los atletas.

Otra de las funciones fisiológicas atribuidas a la carnosina es la de mejorar la sensibilidad al calcio, esta puede ser otra de las causas por las que este suplemento tiene un potencial ergogénico beneficioso para el rendimiento de ciertos atletas.

La cantidad de Ca^{2+} del retículo sarcoplasmático liberado en el citosol durante la contracción muscular se ha descrito como un factor importante en la fatiga muscular (Allen, Lamb & Westerblad, 2008). Una reducción en la liberación de Ca^{2+} en la unión de troponina reducirá el número de complejos actina-miosina y reducirá, a su vez, la producción de fuerza muscular.

Las reducciones en la liberación de Ca^{2+} se han demostrado estar mediadas por alteraciones en los canales de Ca^{2+} , principalmente en los receptores de rianodina (Favero,

Pessah & Klug, 1993), de los cuales, la carnosina se piensa que los activa (Batrukova & Rubstov, 1997) potenciando así la liberación del Ca^{2+} inducida por Ca^{2+} (Dutka, Lambolley, McKenna, Murphy & Lamb, 2012).

En el estudio de Dutka et al., (2013) se informó de que el aumento de carnosina en las fibras del músculo aumentan la producción de fuerza submáxima, la cual era atribuida a la mejora de la sensibilidad al Ca^{2+} del aparato contráctil de las fibras tipo I y tipo II.

Parece ser que la mejora de la sensibilidad al Ca^{2+} provocada por la carnosina puede ser un factor de rendimiento ergogénico, pero estas pruebas solo se han realizado in vitro y se carece de evidencia in vivo.

También se ha planteado la hipótesis de que los radicales libres afecten a la contractibilidad muscular (Supinski, G. 1998), a la producción de energía (Liu, S. 2012), y posteriormente a la fatiga durante y después del rendimiento físico (Finaud, Lac & Filaire, 2006). En estos momentos hay un gran interés sobre la necesidad de antioxidantes en la dieta y el papel que pueden desenvolver en el rendimiento deportivo. Sin embargo, sabemos que si la producción inducida por el ejercicio excede la capacidad antioxidante de un deportista, la función inmune puede verse afectada. La suplementación puede evitar el perjudicial aumento de los radicales libres y proporcionar un beneficio en el rendimiento deportivo. Se ha sugerido que la carnosina tiene un papel antioxidante debido a la capacidad de interferir en las reacciones de peroxidación y también por su capacidad para proteger las membranas celulares y otras estructuras (Boldyrev, 1993).

En el estudio de Smith, Stout, Kendall, Fukuda & Cramer. (2012), se observó que la suplementación con Beta-Alanina, aumenta los niveles de carnosina provocando un efecto antioxidante relacionado con la peroxidación lipídica, y por lo tanto, provocando una posible protección de las membranas celulares. Los autores también observaron una reducción estadísticamente significativa en el índice de esfuerzo percibido. Sin embargo, hay estudios que muestran resultados contradictorios, de manera que se necesita más investigación in vivo para observar el potencial ergogénico real de este suplemento sobre el estrés oxidativo.

Todo esto, ha suscitado el interés de la suplementación con Beta-Alanina (BA), ya que es un precursor limitante de velocidad de la carnosina en el músculo esquelético y eleva sus niveles intracelulares (Harris et al., 2006; Hermansen et al., 1981). Pero, el músculo esquelético es incapaz de sintetizar los dos precursores de carnosina, BA y L-histidina, por lo que la concentración de carnosina intracelular depende en gran medida de la captación de estos aminoácidos en el torrente sanguíneo (Artioli, Gualano, Smith, Stout & Lancha, 2010). Por otro lado, la afinidad de la síntesis de carnosina para L-histidina es mayor que de BA, además de que hay mayores concentraciones de L-histidina en el plasma que de BA, de ahí que se le considere como el factor limitante.

De hecho, se ha demostrado que la suplementación con BA eleva significativamente los niveles de carnosina en fibras musculares tanto de tipo II como de tipo I del vasto lateral (Harris et al., 2006), así como en tibial anterior, sóleo y gastrocnemio (Derave et al., 2007; Baguet et al., 2009; Baguet et al., 2010). Por lo tanto, este efecto ergogénico parece otorgar la suficiente justificación de su creciente uso para la mejora del rendimiento y el interés en esta área de investigación.

Pero todavía hay muchas incógnitas por resolver en relación a este tema, ya que dentro de la literatura disponible existen hallazgos equívocos, esto puede ser debido a la variabilidad de la carga individual de la carnosina, el nivel de entrenamiento de los participantes, el protocolo a utilizar, el tipo de esfuerzo o las dosis.

El propósito de esta revisión es actualizar, resumir y evaluar críticamente los descubrimientos asociados a la suplementación con BA en esfuerzos próximos al VO2 máx., en los que hay un componente anaeróbico aunque no es el mayor predominante en el esfuerzo, y en pruebas de un perfil extensivo en un rango de 5' a 8'-10' evaluados en un test de campo o time trial (TT) y mediante la discusión y argumentación del tema, extraer conclusiones y formular una propuesta de intervención para investigaciones futuras.

PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Esta revisión se ha llevado a cabo siguiendo las pautas de la Declaración Prisma (Urrutia G, Bonfill X. 2010)

Se desarrolló una búsqueda sobre dos bases de datos electrónicas(PUBMED, Google Scholar).

Los términos que se utilizaron para seleccionar los trabajos más idóneos para realizar esta revisión fueron:

- Beta-Alanine
- Supplementation
- Performance
- Sport
- Carnosine
- Ergogenic aids

SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Fueron utilizadas revisiones sistemáticas y ensayos aleatorizados y controlados, ya que son el nivel más alto de evidencia. Los criterios de selección de todos los artículos fueron los siguientes:

- Estudios en inglés
- Estudios en humanos
- Ensayos Aleatorizados y Controlados o Revisiones Sistemáticas
- Estudios de suplementación con Beta-Alanina enfocados hacia el rendimiento
- Estudios de campo o Time trial (TT), preferiblemente por encima de 6-7 minutos y por debajo de 60 minutos.

Los estudios que examinaron efectos de suplementación múltiple con BA y no incluyeron un grupo de Beta-Alanina (GE) y un grupo control (GC) en su medida fueron excluidos.

También fueron excluidos aquellos en los que el test era incremental o intermitente.

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE DATOS

En primer lugar realizamos una lectura exhaustiva de dos revisiones (Bellinger.,2013 y Blancquaert, Everaert & Derave ,2015), dichas revisiones nos ayudaron a descubrir artículos interesantes para esta revisión, y también nos dieron una idea general sobre el estado de evidencia de la suplementación con Beta-Alanina.

LISTA DE DATOS

Se elaboró una lista de las principales variables a extraer de cada estudio, estas son:

- Autores. Referencia detallada de los autores participantes y el año de publicación.
- Participantes en la intervención. Especificando, número de individuos, número de individuos en el grupo experimental de Beta-Alanina (BA) y en el grupo control-placebo (PL) y disciplina a la que pertenecen.
- Ejercicio de evaluación. Tipo de prueba a evaluar según la disciplina.
- Duración del protocolo. Aproximada en el caso de que el test este regido por los metros totales de la prueba y concreta en el caso de que el test este regido por la duración en minutos de la evaluación.
- Suplementación. Duración del protocolo y dosis ingeridas por día.
- Resultados (rendimiento). Variables que se han registrado y datos obtenidos en los estudios.

Resultados

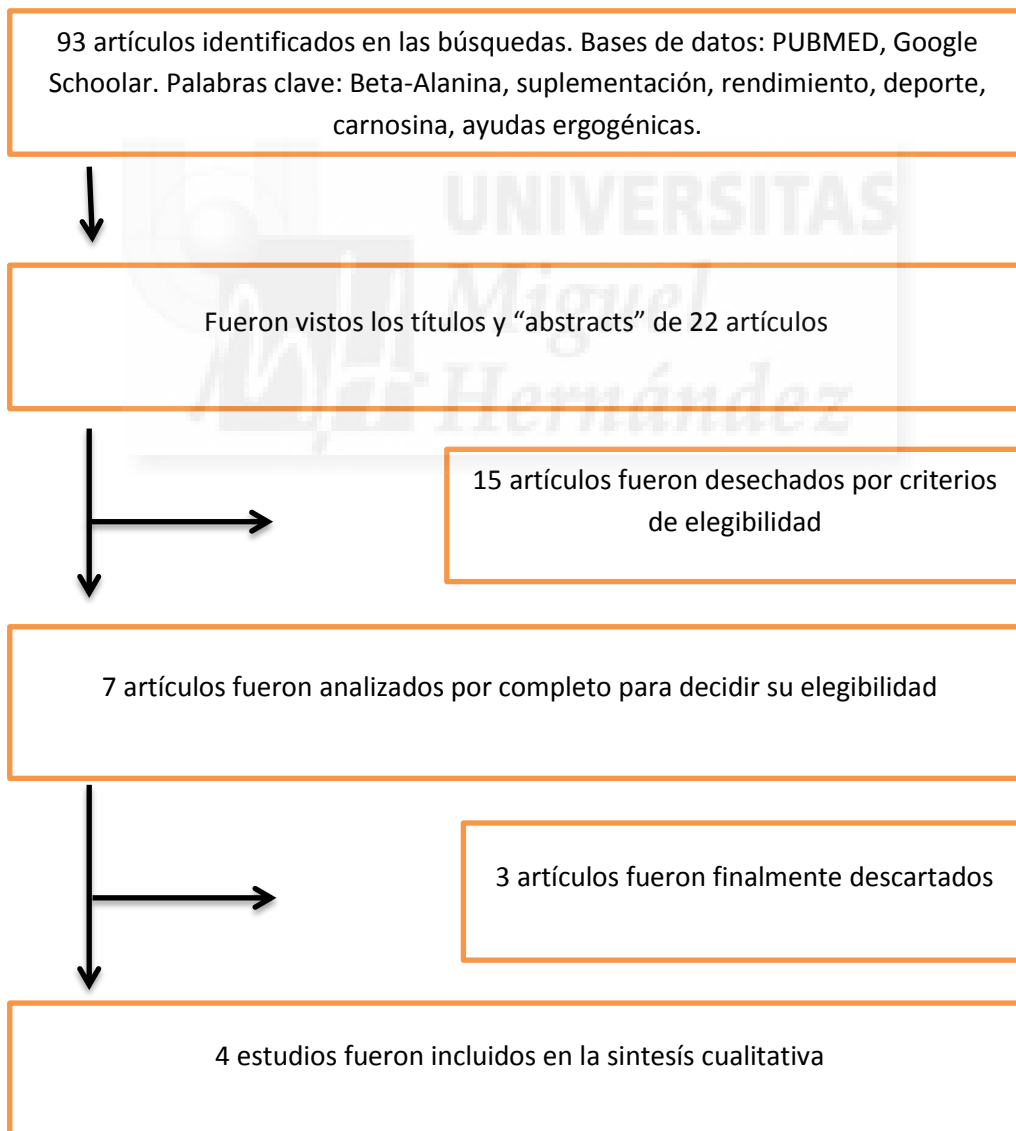


Figura 1. Proceso de búsqueda y flujo de información

La figura 1 describe el proceso de búsqueda y el flujo de información a través de las diferentes fases. La búsqueda combinando PUBMED y Google Scholar y los diferentes términos clave dieron un resultado de 93 estudios, que incluyeron 28 duplicados. 22 títulos y resúmenes fueron revisados y fueron descartados tres estudios por testar esfuerzos intermitentes (Hoffman et al., 2008; De Salles Painelli et al., 2014; Saunders et al., 2012), dos por registrar medidas no referentes al rendimiento (Lowery et al.,2013; Kendrick et al., 2008), dos más por registrar esfuerzos menores a cuatro minutos (Ducker et al.,2013; Chung et al.,2012), uno por coingestión (Danaher et al., 2014) otro por ser un estudio sobre militares (Hoffman et al.,2014) y el último por estudiar el ámbito de la salud(Sale et al.,2013).



CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS

Los detalles de las características de los estudios podemos observarlos en la Tabla 1.

AUTORES	PARTICIPANTES	PROTOCOLO EVALUACIÓN	DURACIÓN PROTOCOLO	SUPLEMENTACIÓN	RESULTADOS (RENDIMIENTO)
Van Thienen R, Van Proeyen K, Vanden Eynde B, Puype J, Lefere T, Hespeel P (2009)	Ciclistas (hombres) Moderadamente entrenados 9 BA 8 P Edad: 24,9 años (rango =18-30) Vo2 máx: 60,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (rango= 45-72)	10 min contrarreloj TT	10 min	2,0 g·d ⁻¹ : 21 días 3,0 g·d ⁻¹ : 21 días 4,0 g·d ⁻¹ : 28 días (8 semanas)	Promedio Potencia Desarrollada Grupo PL mejora en un 3,1%, y grupo BA mejora en un + 5,3% En lactato y pH no se observaron cambios
Baguet, A., Kopppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010b).	Remeros elite (17 hombres 1 mujer) 8 BA 9 P PL: Edad: 24,2±5 años BA: Edad: 21,7±3,4 años	2000 m remoergometro TT	6-7 min	5 g·d ⁻¹ : 49 días (7 semanas) Divididas en dosis de 1g, tomadas en intervalos de 2 h	Contenido de Carnosina Muscular Sóleo en BA=+45,3% (P<0,001), y en PL= -2,8%(P<0,001) Contenido Carnosina Muscular Gastrocnemio BA=+28,2% (P=0,013) PL=NC 2000m remoergometro Grupo PL empeora 1,8±6,8s (P=0,07), y grupo BA mejora 2,7±4,8s (P=0,07) Lactato sin cambios
Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. (2013)	Remeros (hombres) 7 BA 9 P	2000 m remoergometro TT	6-7 min	6-7 g·d ⁻¹ : 28 días	Grupo PL empeora en 0,3±0,1%, y grupo BA mejora en un 0,7±0,2%
Hobson, RM, Harris, RC, Martin, D, Smith, P, Macklin, B, Gualano, B, and Sale. (2013)	Remeros nivel club (entrenados) 10 BA 10 P Edad: 23±4 años	2000 m remoergometro TT	6-7 min	6,4 g·d ⁻¹ : 28 días (4 semanas)	Comparaciones por pares BA vs PL: Grupo BA mejora en 6,4±8,1s BA+SB vs PL: Grupo BA+SB mejora en un 1,1±5,5

DOSIS

Dentro de los estudios existe una gran variabilidad en la cantidad de BA administrada, los gramos totales por día, la duración de la suplementación y la estrategia de utilización. En cuanto a los gramos totales por día van desde $2,0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ hasta $6,4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, remarcando que en el estudio de Ducker, Dawson & Wallman.(2013) la dosis viene dada por el peso corporal de los sujetos ($80,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BM} \cdot \text{d}^{-1}$), que en gramos por día está en un rango entre $6 - 7 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$. La mayoría de los estudios utilizaron una estrategia de dosificación continua y de igual cantidad de principio a final, excepto el estudio de Van Thienen, Van Proeyen, Vanden Eynde, Puype, Lefere & Hespel.(2009) en el que utilizan una estrategia incremental que va desde $2,0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ al comienzo del protocolo hasta $4,0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$. En lo que se refiere al período de semanas de duración de la intervención varían de 4 semanas a 8 semanas. El suplementado fue proporcionado en cápsulas en todos ellos y en el grupo placebo fueron administrados con maltodextrina o glucosa, también tenemos que hacer una excepción en este punto ya que en el estudio de Hobson et al. (2013) se administra también bicarbonato de sodio, tanto con placebo como con BA. También destacamos que en todos los estudios se instaba a los participantes a seguir unas indicaciones los días anteriores a las pruebas y se exigía no haber estado ingiriendo otro tipo de suplemento anteriormente en al menos 3 meses y BA en al menos 6 meses antes de realizar el estudio para que los niveles de carnosina no se viesen alterados.

DISCUSIÓN

Varios estudios son los que abordan el tema del rendimiento en “*time trial*” con una duración superior a los 6-7 minutos y en situaciones de rendimiento real. En primer lugar observamos el estudio de Van thienen et al. (2009) en el cual trabaja con ciclistas entrenados, suplementados durante 8 semanas con BA o PL. El test consta de tres partes cada una de ellas de un tipo de esfuerzo diferente, es decir, primeramente los sujetos realizaran una prueba de simulación de carrera de resistencia intermitente de 110 minutos de duración en la que la intensidad variaba, inmediatamente después se realizaba el TT de 10 minutos de duración, la carga de trabajo inicial se situó al 100% del MLSS (máximo estado estable del lactato), el cual, se correspondía con $89 \pm 1\%$ del VO_2 máx., también se evaluó la potencia desarrollada (W), la FC, lactato y pH. En cuanto a los resultados, la carga inicial de trabajo fue de $281 \pm 15 \text{ W}$ en PL y de 289 ± 19 en BA en el pretest y postest. La carga de trabajo se podía aumentar o descender voluntariamente en intervalos de 1 minuto, dicha carga aumento en un 5-10% al final del TT respecto a la inicial. Si nos fijamos en el porcentaje o promedio de la potencia desarrollada hay mejoras significativamente más altas en el postest, pero no hubieron diferencias entre grupos (PL +3,1%; 95% IC, BA +5,3%; $p=0,01$). Mientras que la potencia desarrollada fue similar en pre y postest. En la concentración de lactato observamos que se incrementó de un $\sim 1-2$ hasta $\sim 6-7 \text{ mMol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($P= 0,0002$), mientras que el pH descendió de un $\sim 7,40$ a $\sim 7,30$ ($p= 0,0003$), aunque los valores de lactato y pH fueron idénticos en el pretest y postest.

Por otro lado Baguet et al.(2010 b) encontró mejoras en el rendimiento en 2000 metros(6-7 minutos) de remeros de élite belgas después de 7 semanas de suplementación con Beta-Alanina. En su estudio se observa como el grupo BA mejora en $2,7 \pm 4,8$ segundos, mientras que placebo fue $1,8 \pm 6,8$ segundos más lento durante los 6-7 minutos aproximadamente que dura la prueba, aunque estos cambios no alcanzaron la significación estadística. Mientras que sí que hay una significación($p= 0,042$) en la correlación positiva ($r=0,498$) entre el cambio de carnosina en el músculo y la mejora de rendimiento en los 2000 m. Estas mejoras de rendimiento también son apoyadas por Ducker et al. (2013) que también

encontró mejoras en el rendimiento en remeros, en concreto tras 4 semanas de suplementación el grupo BA obtuvo mejoras en el 2000m, con una duración de 6-7 minutos aproximadamente, de $2,9 \pm 4,1$ segundos, mientras que el grupo PL fue $1,2 \pm 2,9$ segundos más lento, pero el análisis post hoc indicó que las mejoras en los tiempos de carrera de BA comparado con PL se acercan a la significación ($p=0,055$), con lo cual, estos resultados no fueron significativos para la mejora del rendimiento. El grupo BA mejoró significativamente ($p=0,01$) en sus tiempos de carreras en 750 m y 1000 m (aprox. Entre 2-4 minutos), mientras que el grupo PL fue significativamente más lento. ($p=0,01$) en los mismos puntos.

Además también encontraron Hobson et al. (2013), en su estudio sobre remeros una mejora significativa en el grupo BA en comparación con el grupo PL, ($6,4 \pm 8,1$ s de diferencia entre uno y otro), en dicho estudio también se incluye un grupo suplementado con Bicarbonato de Sodio (SB), el cual en combinación con BA también provocó una pequeña mejora ($1,1 \pm 5,5$ s), en este estudio se observa que hay algunos de los sujetos que no responden igual ante unos suplementos u otros. Si vamos al detalle, hay sujetos que mejoran con PL y otros disminuyen su rendimiento con BA, igual que con SB.

LIMITACIONES

Como consecuencia de que en algunos estudios se encuentra significación en la mejora y en otros se observan mejoras interesantes pero no llegan a dicha significación, los resultados no son totalmente concluyentes, esto puede ser por diferentes factores y diferencias en los diseños de las investigaciones analizadas, ya sea, el tipo de esfuerzo, el nivel de entrenamiento de los sujetos, el tipo de entrenamiento que realizan entre pretest y posttest, la dieta, la duración del protocolo y la fatiga, como podemos ver en los estudios observados anteriormente (Van thienen et al., 2009; Baguet et al., 2010b; Ducker et al., 2013; Hobson et al., 2010), dichos factores provocan que no haya unanimidad en el probable beneficio de dicho suplemento.

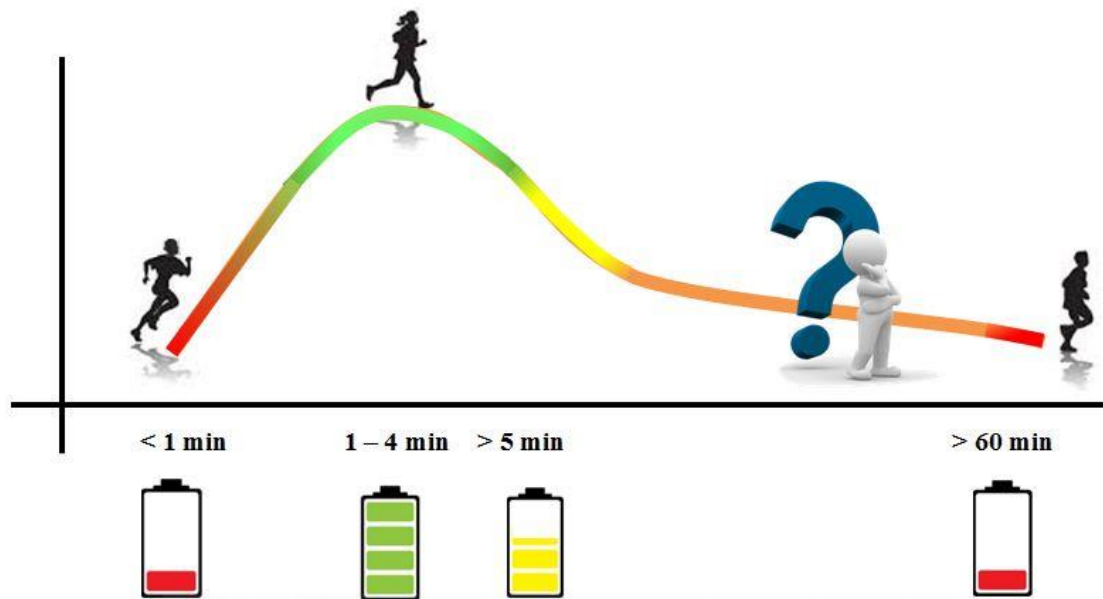
De manera que, encontramos varias limitaciones a la hora de verificar resultados. En lo que se refiere al tipo de sujetos evaluados, en la mayoría de los casos va desde atletas bien entrenados hasta atletas de élite, esto conlleva que, en primer lugar los sujetos sean escasos con lo que se dificulta la intervención, y en segundo lugar, dado que este tipo de sujetos se deben a su entrenamiento y competición, supone tener que adaptarse a las condiciones de la temporada de cada deportista. Otro problema con el que nos encontramos reside en que los autores solo aceptan conclusiones basadas en la significación sin tener en cuenta el tamaño del efecto, el cuál es considerado importante cuando se encuentran cambios que valen la pena en la investigación de rendimiento deportivo (Hopkins, Hawley & Burke, 1999).

Por otra parte, dado que el número de estudios en esfuerzos aeróbicos intensivos (por encima de los 6-7 minutos minutos) son escasos, y por encima de los 20-30 minutos son inexistentes, vamos a realizar una síntesis sobre los efectos de carnosina e intentar justificar una posible intervención.

EVIDENCIAS ACTUALES

En el gráfico 2, se puede observar la evidencia científica actual sobre la Beta-Alanina según Blancquaert et al., (2015). Vemos en las zonas donde tiene mayor incidencia (1-4 minutos) marcas en verde y en las zonas donde no tiene incidencia (<1 minuto; >60 minutos) marcadas en rojo.

Beta-alanina



BENEFICIOS POTENCIALES

Parece bastante claro que los efectos fisiológicos beneficiosos de la carnosina son la mejora de la capacidad de “buffering” o tamponamiento, la mejora de la sensibilidad al calcio y el efecto antioxidante, dentro de esos tres efectos, el que tiene un papel clave en el rendimiento en los esfuerzos aeróbicos intensos es el efecto tamponador.

Como se observa en el estudio de Baguet et al. (2010 b) en el que se informó de una correlación positiva ($r=0,498$) entre el contenido de carnosina muscular y el rendimiento en 100, 500, 200 y 6000 metros en pruebas de remo. Estos descubrimientos sugieren que altas concentraciones de carnosina en ejercicios de alta intensidad se relacionan con la posible disminución de la caída del pH intramuscular y por lo tanto la mejora del rendimiento. En este mismo estudio también podemos ver como se obtienen resultados similares en las tomas de lactato y, sin embargo, el grupo BA obtiene mejores resultados, con lo cual se podría afirmar que la carnosina estaría realizando su efecto “buffering” disminuyendo las altas concentraciones de H^+ lo cual provoca la mejora del rendimiento.

También se podría hacer referencia a la percepción de esfuerzo, ya que la acción de la carnosina causa en los sujetos una percepción subjetiva de esfuerzo menor de lo que nos puede indicar el lactato, en referencia a esto Hoffman et al. (2008) observó efectos aunque no significativos, bastante interesantes de los suplementos de beta-alanina sobre la disminución de sensación de fatiga en 26 jugadores de fútbol. Sin embargo, se observó una tendencia de tasas de fatiga menores ($p=0,07$) en un test anaeróbico, esto se corroboró con sensaciones de los jugadores significativamente más bajas después de la suplementación con BA. En base a esto, se podría decir que realizando un esfuerzo aeróbico con una intensidad cercana al VO_2 máx., aun produciendo cierta acidificación, el sujeto tendrá una sensación de fatiga menor, con lo cual, podrá mantener dicho esfuerzo durante mayor tiempo sin que haya una disminución del rendimiento. Por otra parte, si pensamos en el hipotético caso de un deportista cuya disciplina le obligue a realizar un esfuerzo muy intenso en el último tramo de

carrera dadas las circunstancias de la prueba también obtendría un beneficio muy elevado como se puede observar en el estudio de Van thienen et al. (2009) en el cuál se observan mejoras en el rendimiento en un sprint final tras 110 minutos de simulación de carrera y 10 minutos TT.

A todo esto podemos añadir, que a excepción del glucógeno del músculo esquelético, no hay precedentes de correlaciones entre metabolitos musculares y mejora del rendimiento. El contenido de glucógeno determinan fuertemente el momento de fatiga en pruebas de resistencia (Willmore, Costill & Kenny , 2008). Sin embargo, el glucógeno es un sustrato que fluctúa rápidamente, como lo es el combustible, y que disminuye con el ejercicio y aumenta con la ingestión de carbohidratos (Bergstrom, Hermansen, Hultman & Saltin , 1967). En contraste, la carnosina en un compuesto estable que se encuentra en el organismo y que es característico en cada individuo (Baguet et al. 2009), como dato en este estudio también se observa que la carnosina muscular muestra solo pequeñas fluctuaciones durante un período de 3 semanas al finalizar la suplementación, y por lo tanto, en dicho período los niveles de carnosina siguen significativamente elevados.

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Después del proceso de revisión, vamos a realizar una propuesta de intervención en la que detallaremos los datos más relevantes del estudio.

La muestra a evaluar sería de ciclistas, ya sean de élite, semi-profesionales o bien entrenados, elegimos a estos deportistas ya que queremos evaluar esfuerzos de 20, 40 y 60 minutos, y con ellos podríamos realizar la prueba en estos tiempos y que dichos tiempos sean fiables, ya que estos ciclistas estarían entrenados para disciplinas superiores a las que evaluaremos.

El tamaño de la muestra sería relativo a la disposición y disponibilidad de los sujetos, cuanto más grande mucho mejor, pero aceptaríamos una muestra mínima de 20 sujetos, dicha cantidad estimamos que sería la mínima para realizar una buena intervención.

En cuanto al ejercicio de evaluación sería una simulación de prueba de ciclismo de 60 minutos de duración, tiempo que estimamos suficiente para llevar a cabo un esfuerzo aeróbico con una intensidad bastante alta y que dicho esfuerzo sea fiable.

En lo que se refiere a la toma de datos, realizaríamos tomas de tiempo a los 20, 40 y 60 minutos, tomas de lactato y pH (después del calentamiento, inmediatamente después de la prueba y tras 3 minutos de recuperación).

En el apartado de la suplementación, las dosis serán de $6,4 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ durante 6 semanas, ya que según el estudio de Chung et al., (2013) en ciclistas y triatletas bien entrenados, tomando $6,4 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ de Beta-Alanina durante 42 días tenía una mejora de eficiencia de 5,65%. La dosis que recomendamos en nuestro estudio también está apoyada por la afirmación de Blancquaert et al., (2014) que dice que la ingestión oral de 4 a 6 gramos de beta- alanina por día durante 4 a 10 semanas incrementa las concentraciones de carnosina en un 40-80%.



Month 1



20

Minutos



40

Minutos



60

Minutos

Month 2



BIBLIOGRAFÍA

Abe, H. (2000) Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry* 65:757–765

Allen, D.G., Lamb, G.D., and Westerblad, H.(2008) Impaired calcium release during fatigue. *J Appl Physiol* (1985) 104: 296–305, 2008.

Artoli, G.G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J., Lancha, A.H. (2010) Role of b-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 42:1162–1173

Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., Derave, W. (2009) Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *J Appl Physiol* 106:837–842

Baguet, A., Bourgois, J., Vanhee, L., Achten, E., and Derave, W.(2010) Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol* (1985) 109: 1096–1101

Baguet, A., Bourgois, J., Vanhee, L., Achten, E., & Derave, W. (2010a). Important role of muscle carnosine in rowing performance. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 109(4), 1096–1101.

Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010b). Betaalanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 495–503.

Bellinger, P.M.(2013) B-alanine supplementation for athletic performance: An update. *Journal of Stenght and Conditioning Research*; 28(6)/1751-1770

Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., Saltin, B.(1967) Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 71: 140–150

Blancquaert, L., Everaert, I., Derave, W.(2015) Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*; 18(1):63-70

Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Lakomy, H.K.A., Boobis, L.H. (1998) Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 163:261–272

Boldyrev, A.A.(1993) Does carnosine possess direct antioxidant activity? *Int J Biochem* 25: 1101–1107

Chung, W., Baguet, A., Bex, T., Bishop, D.J. y Derave, W.(2014) Doubling of muscle carnosine concentration does not improve laboratory 1-h cycling time trial performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*; 24:315–324.

Davey, C.L. (1960) The effects of carnosine and anserine on glycolytic reactions in skeletal muscle. *Arch Biochem Biophys* 98:296–302

Derave, W., Ozdemir, M.S., Harris, R.C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., Wise, J.A., Achten, E. (2007) B-alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol* 103:1736–1743

Donaldson, S.K.B., Hermansen, L. (1978) Differential direct effects of H⁺ and Ca²⁺ - activated force of skinned fibres from the soleus, cardiac, adductor magnus muscle of rabbits. *Pflugers Arch* 376: 55–65

Ducker, K.J., Dawson, B., Wallman, K.E.(2013) Effect of beta-alanine supplementation on 2000-m rowing-ergometer performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*; 23:336–343.

Dunnett, M., Harris, R.C. (1997) High-performance liquid chromatographic determination of imidazole dipeptides, histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in equine and camel muscle and individual muscle fibres. *J Chromatogr B Biomed Appl* 688:47–55

Dutka, T.L., Lambole, C.R., McKenna, M.J., Murphy, R.M., and Lamb, G.D.(2012) Effects of carnosine on contractile apparatus Ca²⁺ sensitivity and sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release in human skeletal muscle fibers. *J Appl Physiol* 112: 728–736

Fabiato A., Fabiato, F. (1978) Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol* 276:233–235

Favero, T., Pessah, I., and Klug, G.(1993) Prolonged exercise reduces Ca²⁺ release in rat skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *Pflugers Arch* 422: 472–475

Finaud, J., Lac, G., and Filaire, E.(2006) Oxidative stress. *Sports Med* 36: 327–358

Harris, R.C., Edwards, R.H.T., Hultman, E., Nordesjo, L.O., Ny Lind, B. (1976) The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch* 367: 137–142

Harris, R.C., Marlin, D.J., Dunnett, M., Snow, D.H., Hultman, E. (1990) Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse, greyhound dog and man. *Comp Biochem Physiol* 97A:249–251

Harris, R.C., Dunnett, M., Greenhaff, P.L. (1998) Carnosine and taurine contents in individual fibres of human vastus lateralis muscle. *J Sports Sci* 16:639–643

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

Hermansen, L.(1981) Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. *Ciba Found Symp* 82: 75–88

Hobson, R.M., Harris, R.C., Martin, D., Smith, P., Macklin, B., Gualano, B., and Sale, C.(2013) Effect of b-alanine, with & without sodium bicarbonate, on 2000 m rowing performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 23: 480–487

Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Ross R, Kang J, Stout JR, Wise JA (2008) Short duration b-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutr Res* 28:31–35 Hopkins, WG, Hawley, JA, and Burke, LM. Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med Sci Sports Exerc* 31: 472–485, 1999.

Liu, S.S.(1999) Cooperation of a “Reactive Oxygen Cycle” with the Q Cycle and the proton Cycle in the respiratory chain—superoxide generating and cycling mechanisms in mitochondria. *J Bioenerg Biomembr* 31: 367–376

Mannion, A.F., Jakeman, P.M., Dunnett, M., Harris, R.C., Willian, P.L. (1992) Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *Eur J Appl Physiol* 64:47–50

McKenna, M.J. (1992) The roles of ionic processes in muscular fatigue during intense exercise. *Sports Med* 2 : 134 - 145.

Sale, C., Saunders, B., Harris, R.C. (2010) Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* 39:321–333

Smith, A.E., Stout, J.R., Kendall, K.L., Fukuda, D.H., and Cramer, J.T.(2012) Exercise-induced oxidative stress: The effects of b-alanine supplementation in women. *Amino Acids* 43: 77–90, 2012.

Spriet, L.L., Lindinger, M.I., McKelvie, R.S., Heigenhauser, G.J.F., Jones, N.L. (1989) Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol* 66:813

Supinski, G.(1998) Free radical induced respiratory muscle dysfunction. *Mol Cell Biochem* 179: 99–110

Trivedi, B., Daniforth, WH.(1966) Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase. *J Biol Chem* 241:4110–4112

Van Thienen R., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T., Hespel, P.(2009) b-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 41:898–903

Wilmore, J., Costill, L., & Kenny, W. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign: Human Kinetics.