



Trabajo Original

Otros

Efectos de la suplementación aguda con beta-alanina sobre una prueba de tiempo límite a velocidad aeróbica máxima en atletas de resistencia

Effects of acute supplementation with beta-alanine on a limited time test at maximum aerobic speed on endurance athletes

Álvaro Huerta Ojeda^{1,7,8}, Osmar Contreras-Montilla², Sergio Galdames Maliqueo^{3,7,8}, Carlos Jorquera-Aguilera⁴, Rodrigo Fuentes-Kloss⁵ y Rafael Guisado-Barrilao⁶

¹Facultad de Educación. Escuela de Educación Física. Universidad de Las Américas. Sede Viña del Mar. Chile. ²Facultad de Ciencias. Escuela de Nutrición y Dietética. Magíster en Nutrición para la Actividad Física y el Deporte. Universidad Mayor. Santiago, Chile. ³Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación. Valparaíso, Chile. ⁴Facultad de Ciencias. Escuela de Nutrición y Dietética. Universidad Mayor. Santiago, Chile. ⁵Facultad de Ciencias Médicas. Carrera de Kinesiología. Universidad de Santiago de Chile. Chile. ⁶Facultad de Salud. Universidad de Granada. Granada. ⁷Grupo de Investigación en Salud, Actividad Física y Deporte ISAFYD. Escuela de Educación Física. Universidad de Las Américas. Sede Viña del Mar. Chile. ⁸Centro de Capacitación e Investigación Deportiva Alpha Sports. Valparaíso, Chile

Resumen

Introducción: la beta-alanina (BA) es una de las ayudas ergogénicas más utilizadas actualmente por deportistas, pero la mayoría de los estudios centran su investigación en la suplementación prolongada.

Objetivos: determinar el efecto agudo de la suplementación con BA sobre una prueba de tiempo límite (PTL) a velocidad aeróbica máxima (VAM) en atletas de resistencia.

Material y método: once atletas de resistencia (VO_{2max} $61,6 \pm 9,5$ mL O_2 ·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$) fueron parte del estudio. El diseño fue doble ciego, cruzado intrasujeto, y la suplementación de BA fue de 30 mg·kg $^{-1}$ o placebo (PL) 60 minutos antes de completar una PTL. Las variables fueron: tiempo y distancia en la PTL y concentraciones de lactato ([La]) postesfuerzo en los minutos 1, 3, 5, 7 y 9. Para el análisis se utilizó una prueba t de Student y el tamaño del efecto (TE) se realizó mediante la prueba d de Cohen.

Resultados: el tiempo en la PTL evidenció diferencias significativas entre la BA y PL ($p = 0,047$; TE = 0,48). No se observaron diferencias significativas en distancia entre ambos grupos ($p = 0,071$; TE = 0,48) y las [La] evidenciaron diferencias significativas entre ambos grupos en los minutos 3, 5 y 7, respectivamente ($p < 0,05$).

Conclusión: la suplementación aguda con BA evidenció aumentos significativos en el tiempo de ejecución en la PTL a intensidades correspondientes a VAM. Por lo anterior, la suplementación aguda con BA es una ayuda ergogénica que podría ser considerada por los atletas de resistencia para aumentar el rendimiento deportivo.

Palabras clave:

Beta-alanina. Ayuda ergogénica. Prueba de ejercicios.

Abstract

Introduction: the beta-alanine (BA) is one of the ergogenic aid most used by athletes, but the majority of the studies center the research on chronic supplementation.

Objectives: to determine the acute effect of BA supplementation on a limited time test (LTT) at maximum aerobic speed (MAS) on endurance athletes.

Material and method: eleven endurance athletes (VO_{2max} $61,6 \pm 9,5$ mL O_2 ·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$) were part of the study. The study consisted of a double-blind, cross-over intra-subject design, and the BA supplementation was 30 mg·kg $^{-1}$ or placebo (PL) 60 minutes before completing a LTT. The variables were: time and distance in LTT, and post-effort lactate concentrations ([La]) in minutes 1, 3, 5, 7, and 9. The Student's t test was used for the analysis and the size of the effect (SE) was measured through Cohen's d test.

Results: the time on LTT showed significant differences between BA and PL ($p = 0,047$; SE = 0,48). No significant differences were seen between both groups ($p = 0,071$; SE = 0,48), and [La] showed significant differences between both groups in minutes 3, 5 and 7, respectively ($p < 0,05$).

Conclusion: acute supplementation with BA showed a significant increase in the execution time in LTT in the intensities connected to MAS. Hence, acute supplementation with BA is an ergogenic aid that could be considered by resistance athletes in order to increase the athletic performance.

Key words:

Beta-alanine. Performance-enhancing substances. Exercise test.

Recibido: 14/09/2018 • Aceptado: 11/03/2019

Huerta Ojeda Á, Contreras-Montilla O, Galdames Maliqueo S, Jorquera-Aguilera C, Fuentes-Kloss R, Guisado-Barrilao R. Efectos de la suplementación aguda con beta-alanina sobre una prueba de tiempo límite a velocidad aeróbica máxima en atletas de resistencia. Nutr Hosp 2019;36(3):698-705

DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.02310>

Correspondencia:

Álvaro Huerta Ojeda. Facultad de Educación. Escuela de Educación Física. Universidad de Las Américas. Sede Viña del Mar. Chile
e-mail: achuertao@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

Los ejercicios de alta intensidad necesitan niveles elevados de sustrato y generan acumulación de metabolitos en el músculo esquelético (1). A medida que el ejercicio avanza hasta el punto de fatiga, ocurre una acumulación rápida de lactato e hidrogeniones (H^+) (1). La acumulación de estos metabolitos contribuye en el descenso del pH, generando una brusca acidosis metabólica cuando la acumulación intracelular de H^+ supera la capacidad aeróbica de remoción (2). De esta manera, se producen efectos perjudiciales sobre la función del músculo esquelético y en la generación de fuerza que contribuyen a la fatiga (1). Específicamente, la acumulación de H^+ en el músculo esquelético ha demostrado que interrumpe la resíntesis de fosfato de creatina (3), inhibe la glucólisis (3) e interfiere con la liberación de Ca^{++} desde el retículo sarcoplasmático y el acoplamiento de excitación-contracción (4). Más recientemente, la evidencia apunta a un efecto que conlleva la acumulación de H^+ en la sangre en la percepción del esfuerzo durante el ejercicio intermitente de alta intensidad (5), lo que podría también contribuir a la fatiga indirectamente.

En los últimos años se han probado varios suplementos nutricionales que teóricamente mantienen una mayor estabilidad en el pH durante ejercicios de alta intensidad (2,6,7). Por consiguiente, los amortiguadores fisicoquímicos en el músculo, entre los que se encuentra la carnosina, proporcionan la primera línea de defensa contra los cambios locales en el pH (2). La carnosina (b-alanil-L-histidina), por su parte, es un dipéptido citoplasmático formado por beta-alanina (BA) y L-histidina; no obstante, el precursor limitante en la síntesis de la carnosina en las fibras musculares viene dado por la BA (8). Se ha demostrado que la suplementación con BA aumenta significativamente los niveles de carnosina en las fibras musculares humanas de tipo I y tipo II del vasto lateral (8), así como en el tibial anterior, sóleo y gastrocnemio (9-11). Además, la carnosina desempeña un papel importante en el tamponamiento intracelular de H^+ debido a su anillo de imidazol, que tiene un pKa de 6,83 (12), y dado que la acidosis muscular es probablemente la que contribuye al inicio de la fatiga durante el ejercicio de alta intensidad, el aumento de la concentración de carnosina muscular teóricamente aumentaría la capacidad de tamponamiento intracelular, lo que podría retrasar la aparición de fatiga (2).

Del mismo modo, en un metaanálisis desarrollado por Hobson y cols. (2) se demostró la eficacia de la suplementación con BA en ejercicios de alta intensidad, particularmente en ejercicios que duran entre uno y cuatro minutos, pero también los investigadores concluyeron que en las pruebas inferiores a 60 segundos de duración la suplementación con BA no produce efectos significativos, y que tanto el tipo como la intensidad y la duración del ejercicio influyen positivamente el efecto ergogénico de la BA, partiendo del respaldo que el beneficio de la BA se produce a través de un aumento en el *buffering* del pH intracelular (2). Igualmente, los beneficios de la suplementación con BA parecen ser consistentes en actividades que duran hasta diez minutos (13). Por otra parte, la dosificación con BA varía de 3,2 a 6,4 g·día⁻¹,

con protocolos de suplementación de entre cuatro y 12 semanas (14,15). Sin embargo, en vivo, las concentraciones de carnosina se ven influenciadas por la disponibilidad de BA, lo que indica que a mayor ingesta de BA, mayor concentración de carnosina (16).

Actualmente, la suplementación prolongada con BA ha dado como resultado un aumento del rendimiento en algunos protocolos de ejercicios de alta intensidad (14,17), en ejercicios de *sprint* al final de una carrera de ciclismo de resistencia (18) y en series de contracciones máximas (9). De forma paralela, algunos investigadores han reportado cambios no significativos en el rendimiento posterior a la suplementación aguda con BA (19). Desafortunadamente, las pocas investigaciones que relacionan la suplementación aguda de BA en pruebas de rendimiento con duración mayor a tres minutos son escasas, menos aún en zonas de velocidad aeróbica máxima (VAM). Por lo anterior, aún queda por esclarecer las respuestas agudas de BA frente a ejercicios a VAM con una duración mayor a los 180 segundos. Consecuentemente, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto agudo de la suplementación con BA sobre una prueba de tiempo límite (PTL) a VAM en atletas de resistencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

APROXIMACIÓN A LA INVESTIGACIÓN

En este estudio se trabajó con once atletas de resistencia (seis hombres y cinco mujeres). El criterio de inclusión fue la cantidad de años en el deporte (los sujetos tenían un mínimo de dos años corriendo pruebas de medio fondo y fondo), mientras que el criterio de exclusión fue la incapacidad de ejecutar la PTL, ya sea por correr a menor o mayor intensidad teórica. Para investigar el efecto de la suplementación aguda en ejercicio de alta intensidad, el protocolo experimental se repitió dos veces en condiciones de doble-ciego intrasujeto (BA vs. placebo [PL]) separados por 48 horas.

SUJETOS

Once corredores de resistencia universitarios (seis hombres y cinco mujeres) pertenecientes a la Asociación Regional de Atletismo de Valparaíso, Chile (edad: $24,2 \pm 4,45$ años, peso: $60,5 \pm 8,39$ kg, altura: $167 \pm 8,42$ cm, índice de masa corporal [IMC]: $21,5 \pm 1,28$ kg·m⁻², porcentaje de grasa corporal: $16,8 \pm 7,71\%$, consumo máximo de oxígeno [VO_{2max}]: $61,6 \pm 9,5$ mL O₂·kg⁻¹·min⁻¹) (Tabla I), se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Todos los sujetos y entrenadores participantes fueron informados del objetivo del estudio y de los posibles riesgos del experimento. Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado antes de la aplicación del protocolo. Tanto el protocolo de estudio como el consentimiento informado fueron aprobados por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada, España (registro 493/CEIH/2018).

Tabla I. Características de la muestra

Sujetos	Edad (años)	IMC (kg/m ²)	Masa corporal (kg)	Estatura (cm)	% Grasa corporal*	Consumo máximo de oxígeno (mLO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VAM (m·s)
a (M)	31	20,2	47,8	154	23,4	53,6	4,45
b (M)	20	20,5	51,7	159	25,0	49,5	4,75
c (M)	28	19,5	48,1	157	19,5	61,7	4,45
d (M)	23	23,2	67,9	171	27,8	45,7	4,16
e (M)	18	22,9	59,3	161	26,5	54,8	5,05
f (H)	27	22,5	67,3	173	12,9	67,0	5,35
g (H)	21	22,0	63,7	170	10,5	65,0	5,35
h (H)	27	21,3	62,2	171	8,1	71,5	5,94
i (H)	25	22,8	69,7	175	12,9	64,4	5,35
j (H)	28	21,6	70,6	181	8,1	75,2	5,64
k (H)	18	20,1	57,4	169	10,5	69,2	5,64
Todos (11)	24,2 ± 4,4	21,5 ± 1,3	60,5 ± 8,4	167,4 ± 8,4	16,8 ± 7,7	61,6 ± 9,5	5,10 ± 0,58
Mujeres (5)	24,3 ± 4,0	21,7 ± 1,0	65,2 ± 5,0	173,2 ± 4,4	10,5 ± 2,1	53,1 ± 6,0	4,57 ± 0,34
Hombres (6)	24,0 ± 5,4	21,3 ± 1,7	55, ± 8,6	160,4 ± 6,5	24,4 ± 3,2	68,7 ± 4,1	5,54 ± 0,24

M: mujer; H: hombre; IMC: índice de masa corporal; kg: kilogramos; m²: metros cuadrados; cm: centímetros; mL O₂·kg⁻¹·min⁻¹: mililitros de oxígeno por kilogramo de peso corporal por minuto; VAM: velocidad aeróbica máxima; m·s: metros por segundo. *Sumatoria de cuatro pliegues (Durnin and Womersley, 1974).

INSTRUMENTOS

Para la caracterización de la muestra se realizó una evaluación de peso, estatura, IMC y porcentaje de grasa corporal. Para la evaluación del porcentaje de grasa corporal, se midieron cuatro pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, supraespinal y bicipital) (20). Para las mediciones de pliegues cutáneos se utilizó el Kit Gaucho Pro "Mercosur", fabricado en Argentina bajo licencia de Rosscraft Canadá®.

CALENTAMIENTO ESTANDARIZADO

Tanto para la evaluación de VO_{2max} como para ambas PTL, el calentamiento estandarizado consistió en diez minutos de trote a 8 km·h para mujeres y a 10 km·h para hombres. Luego se incluyeron cinco minutos de movimientos balísticos de la extremidad inferior. Por último, los corredores realizaron tres aceleraciones de 80 metros.

EVALUACIÓN DEL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO

La evaluación del VO_{2max} se realizó a través de una ergoespirometría mediante un test incremental en un tapiz rodante. Todas las variables respiratorias se midieron utilizando sistemas analizadores de gases automáticos (CORTEX modelo MetaMax®3B). Antes de las pruebas, los analizadores y su software respectivo se calibraron

estrictamente de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes. Los datos fueron procesados a través de un ordenador portátil que calculó los resultados mediante un software desarrollado por el fabricante. Todos los corredores fueron precedidos por un calentamiento estandarizado de diez minutos y posteriormente ejecutaron la prueba de VO_{2max} con los criterios sugeridos por Howley y cols. (21). Esto implicó que la prueba de VO_{2max} comenzara con intensidades de 10 km·h para las mujeres y 12 km·h para los hombres, incrementándose gradualmente 1 km·h a intervalos de dos minutos hasta el agotamiento para ambos sexos. El VO_{2max} fue considerado cuando la cinética del VO₂ generó una meseta al final de la prueba, lo que implicó una estabilización del VO₂ a pesar del incremento de la carga (para considerar una meseta, el criterio utilizado fue que el aumento de VO₂ debía ser inferior a 150 mL O₂·min⁻¹ en las dos últimas cargas). La velocidad a la que se generó la meseta fue considerada como la VAM de cada sujeto. La inclinación utilizada en el tapiz rodante para todas las mediciones fue del 2%. Se instruyó a los participantes a correr a las velocidades correspondientes durante el tiempo que cada uno pudiera. Además, los datos de frecuencia cardiaca se monitorizaron utilizando un monitor de frecuencia cardiaca Polar S410® (Polar Electro), sincronizado con el software del analizador de gases.

PRUEBA DE TIEMPO LÍMITE

La PTL consiste en recorrer la mayor distancia posible en una pista atlética de 400 metros a una velocidad específica.

Este parámetro expresa el mantenimiento de una velocidad constante específica hasta el punto de agotamiento, definida por la incapacidad de mantener esa velocidad precisa; por lo tanto, la medida del rendimiento fue el tiempo en segundos (s) en la PTL (22). La velocidad específica definida para la realización de la PTL en este estudio, y la comprobación del uso de la BA como una ayuda ergogénica, fue la VAM obtenida en el test incremental de $VO_{2\text{máx}}$.

Para controlar la velocidad de desplazamiento en la pista de 400 metros, se usaron marcadores sonoros cada 100 metros. En el momento en que los atletas no lograron llegar a la marca de los 100 metros en el tiempo requerido por segunda vez consecutiva, la prueba se consideró finalizada y se registraron el tiempo final en segundos (s), la distancia recorrida en metros (m) y la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) a través de la escala de Borg modificada (1 a 10) (23). Al término de la PTL, se evaluaron las concentraciones de lactato capilar producido ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) y la frecuencia cardíaca (FC) de término y de recuperación en los minutos 1, 3, 5, 7 y 9. Para la medición de las concentraciones de lactato ([La]) en sangre, se utilizó un lactómetro (h/p/cosmos®). Este lactómetro genera una detección enzimática-amperométrica de lactato con una precisión de $\pm 3\%$ (desviación estándar mínima de $0,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), volumen de muestra $0,2 \mu\text{L}$ y con un rango de medición de $0,5\text{-}25,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

SUPLEMENTACIÓN

Carga de carbohidratos previa a PTL (timing nutricional)

Todos los atletas estuvieron a disposición dos horas antes de las PTL en condiciones de ayuno, con la finalidad de estandarizar una comida preentrenamiento, que estuvo constituida por 2 g de carbohidratos simples por kg de peso corporal.

Suplementación con B-alanina

Sesenta minutos antes de la PTL, se realizó la suplementación con BA. Esta suplementación fue de 30 mg de BA por kg de masa corporal disueltas en 500 mL de agua destilada. Treinta minutos posteriores a esta ingesta se ejecutó el calentamiento estandarizado previo a la PTL.

Suplementación con placebo

Sesenta minutos antes de la PTL se realizó la suplementación con placebo. Esta suplementación fue de 30 mg de carbohidratos simples por kg de masa corporal disueltos en 500 mL de agua destilada. Treinta minutos posteriores a esta ingesta se ejecutó el calentamiento estandarizado previo a la PTL.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

El estudio fue cuasiexperimental, doble ciego, cruzado intra-sujeto. El experimento se desarrolló durante una semana. Antes de la aplicación del experimento, se solicitó a toda la muestra que no ingirieran cafeína, suplementos energéticos o cualquier sustancia que incrementara el metabolismo 48 horas antes del día 1 y durante toda la semana de intervención. Previo al día 1, los sujetos firmaron el consentimiento informado y se realizaron las evaluaciones antropométricas. El día 1 se realizaron las evaluaciones de $VO_{2\text{máx}}$ para toda la muestra. El día 2 fue de descanso. El día 3, el 50% de la muestra (tanto mujeres como hombres) realizaron la PTL suplementados con BA, mientras que el otro 50% realizó la PTL con PL. El día 4 fue de descanso. El día 5, aquellos sujetos que ejecutaron la PTL con BA ahora la realizaron con PL y viceversa (Fig. 1A y B).

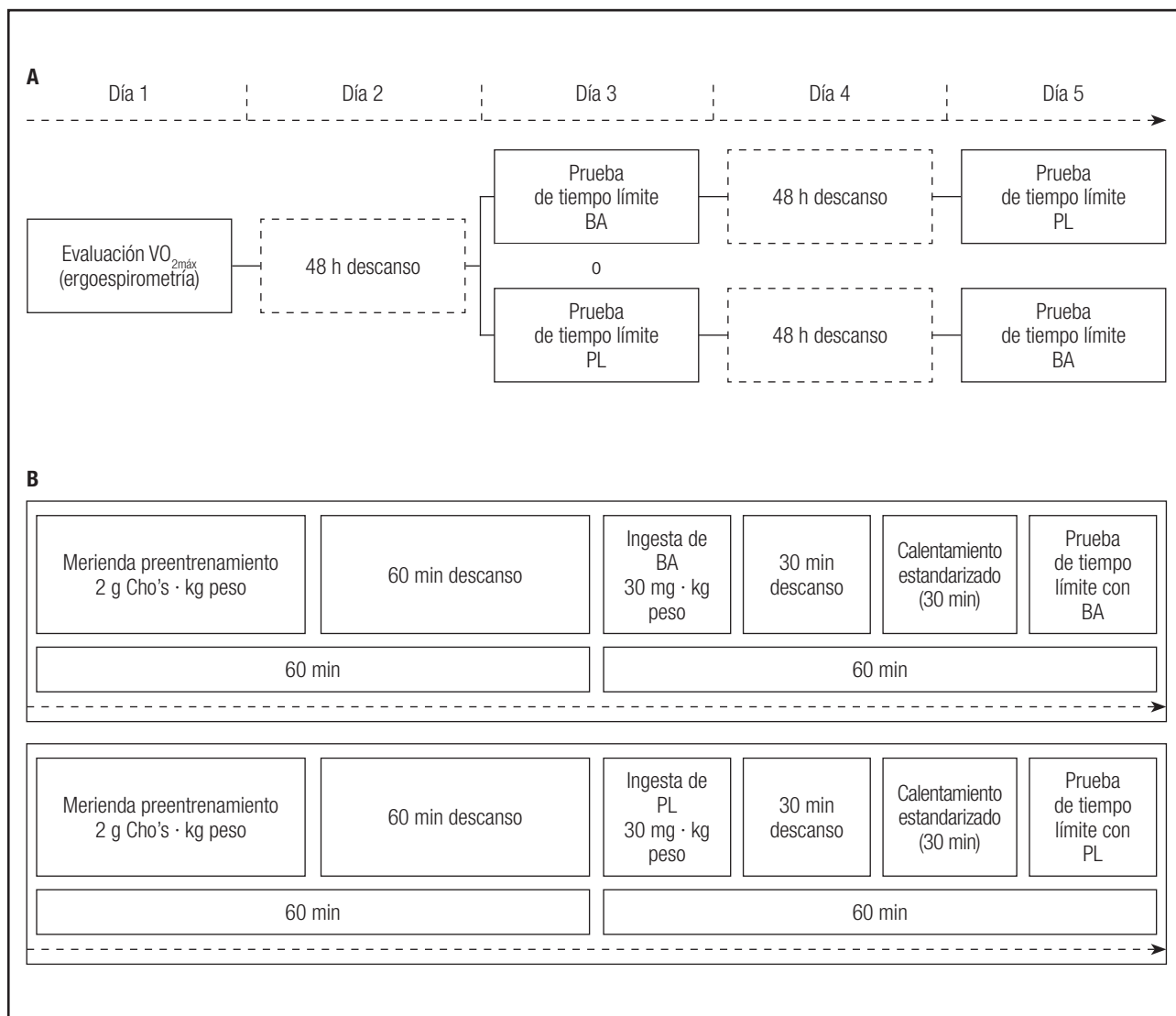
ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la tabulación y el análisis de datos se utilizaron el software Excel 2013® y el software estadístico SPSS versión 19®. La estadística descriptiva fue utilizada para expresar los valores medios y las desviaciones estándar de las variables estudiadas. La distribución normal de los resultados fue determinada con la prueba de Shapiro-Wilk. La comparación de medias de tiempo, distancia y PSE en la PTL a VAM, además de las [La] y la FC postesfuerzo, entre el grupo suplementado con BA y el grupo con PL, se realizó mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas, mientras que el tamaño del efecto (TE) se calculó a través de la prueba d de Cohen. Este último análisis considera un efecto insignificante ($d < 0,2$), pequeño ($d = 0,2$ hasta $0,6$), moderado ($d = 0,6$ a $1,2$), grande ($d = 1,2$ a $2,0$) o muy grande ($d > 2,0$). El nivel de significancia para todos los análisis estadísticos fue de $p < 0,05$.

RESULTADOS

El análisis de datos fue realizado con siete de los once casos (tres mujeres y cuatro hombres). Hubo cuatro sujetos excluidos por la incapacidad de ejecución en la PTL a intensidad de VAM (ejecutaron a una intensidad mayor de la VAM individual). Los casos excluidos fueron a – b – h – i (Tabla I). Aplicada la prueba t de Student, el grupo suplementado con BA evidenció aumentos significativos en el tiempo realizado durante la PTL a VAM al ser comparado con el grupo PL ($p = 0,047$; $TE = 0,48$). En relación a la distancia realizada durante la PTL a VAM, ambos grupos no presentaron diferencias significativas ($p < 0,071$; $TE = 0,48$). Las progresiones y los cambios están reportados en la tabla II.

Por otra parte, la PSE entre ambas condiciones no mostró diferencias significativas al término de la PTL ($p = 0,096$; $TE = 0,80$). De igual manera, las [La] de reposo no mostraron diferencias entre el grupo suplementado con BA y el grupo suplementado con PL ($p = 0,634$; $TE = 0,24$). Las progresiones y los cambios están reportados en la tabla II.

**Figura 1.**

A. Diseño metodológico para la aplicación del tratamiento con BA y PL. B. Tiempo de espera entre la ingesta de BA o PL y la ejecución de la prueba de tiempo límite ($VO_{2\max}$: consumo máximo de oxígeno; h: horas; BA: beta-alanina; PL: placebo. Cho's: carbohidratos de fácil absorción; min: minutos).

Tabla II. Tiempos, distancias, PSE y [La] obtenidos en PTL a VAM con BA y PL

	Placebo media ± DS	Beta-alanina media ± DS	t de Student	d de Cohen
Tiempo Tiempo (s)	326,0 ± 84,6	366,5 ± 85,9	*	0,48
Distancia Distancia (m)	1.651,4 ± 370,8	1.828,6 ± 363,8	ns	0,48
Percepción subjetiva del esfuerzo Escala de Borg	7,6 ± 0,53	8,28 ± 1,5	ns	0,80
Concentración de lactato sanguíneo inicial [La] (mmol·L ⁻¹)	2,50 ± 0,67	2,34 ± 0,66	ns	0,24

PTL: prueba de tiempo límite; PSE: percepción subjetiva del esfuerzo; [La]: concentraciones de lactato sanguíneo; VAM: velocidad aeróbica máxima; BA: beta-alanina; PL: placebo; s: segundos; DS: desviación estándar; m: metros; mmol·L⁻¹: milimoles por litro; ns: no significativo. * $p < 0,05$.

Al término de la PTL, la FC de recuperación no mostró diferencias significativas en los minutos 1, 3, 5, 7 y 9 entre las dos condiciones. Las progresiones y los cambios están reportados en la tabla III, mientras que las [La] post-PTL tuvieron diferencias significativas entre ambas condiciones en los minutos 3, 5 y 7. Las progresiones y los cambios están reportados en la tabla III y en la figura 2.

DISCUSIÓN

En relación al objetivo principal de este estudio, los resultados indicaron que la suplementación aguda con BA (30 mg·kg⁻¹) aumentó el tiempo de carrera en una PTL a intensidades correspondientes a VAM ($p < 0,05$). Según lo evidenciado, luego de la suplementación aguda con BA, el grupo experimental fue capaz de mantener una carrera a VAM por mayor tiempo al ser comparado con el grupo placebo ($366,5 \pm 85,9$ y $326,0 \pm 84,6$ s, respectivamente). Según las evidencias existentes, tanto los investigadores del presente estudio como Dutka y cols. (24) atribuyen el aumento del rendimiento deportivo al incremento de la sensibilidad del calcio del aparato contráctil cuando se utiliza suplementación de BA. Sumado a lo anterior, Sale y cols. (1) mencionaron que la suplementación con BA puede conducir a una mayor producción de fuerza, mientras que Ririe y cols. (25) asociaron el aumento de rendimiento a una reducción de la fatiga por vasodilatación. Asimismo, Harris y cols. (8), Hill y cols. (14) y Stout y cols. (17) plantearon que el incremento en el rendimiento se debe a un aumento de la carnosina intracelular, y es esta última la que atenuaría la caída del pH intracelular durante las contracciones musculares de alta intensidad. En relación a este último planteamiento, dentro de los hallazgos obtenidos también se evidenció una mayor [La] sanguínea postesfuerzo en los minu-

tos 3, 5 y 7 en el grupo experimental al ser comparado con el grupo placebo. Este incremento en las [La] postesfuerzo se puede asociar a la suplementación con BA, ya que este aminoácido, al contrarrestar la acumulación de H⁺, ayuda a la mantención del pH intramuscular durante el ejercicio intenso (8,14).

Los estudios centrados en los efectos agudos de la suplementación de BA son escasos y contradictorios (19). Invernizzi y cols. (19) concluyeron que la ingesta de 1 g de carnosina y 1 g de BA cuatro horas antes de una prueba de carrera total no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento, el esfuerzo percibido, el dolor muscular, ni en la respuesta en las [La] sanguíneas en comparación con el placebo. En dicho estudio, utilizó una muestra de 12 sujetos masculinos sanos y físicamente activos. Sin embargo, no se declararon antecedentes como VO₂, VO_{2máx}, umbral ventilatorio 1 o 2. Esta muestra heterogénea fue constituida por jugadores de fútbol, básquetbol y atletas de pista y campo, por lo que no

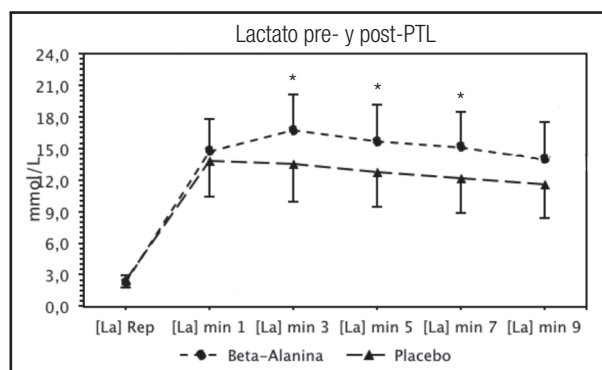


Figura 2.

Concentraciones de lactato sanguíneo post-PTL a VAM con suplementación de BA y PL. PTL: prueba de tiempo límite; VAM: velocidad aeróbica máxima. * $p < 0,05$.

Tabla III. FC y [La] de recuperación posterior a la PTL a VAM con BA y PL

Frecuencia cardiaca postesfuerzo (lpm)						
	Término	min 1	min 3	min 5	min 7	min 9
Placebo	178,8 ± 13,2	148,7 ± 15,2	124,2 ± 13,8	113,5 ± 13,3	114,0 ± 13,4	113,1 ± 10,9
Beta-alanina	185,4 ± 8,0	150,8 ± 19,9	125,5 ± 16,4	115,1 ± 13,9	114,7 ± 14,8	117,2 ± 14,04
t de Student	0,313	0,637	0,632	0,406	0,649	0,121
d de Cohen	0,62	0,12	0,08	0,12	0,05	0,38
Lactato postesfuerzo (mmol·L ⁻¹)						
	Inicio	min 1	min 3	min 5	min 7	min 9
Placebo	2,50 ± 0,67	13,84 ± 3,42	13,60 ± 3,67	12,77 ± 3,26	12,21 ± 3,35	11,62 ± 3,17
Beta-alanina	2,34 ± 0,66	14,80 ± 3,01	16,8 ± 3,35	15,71 ± 3,47	15,18 ± 3,32	14,00 ± 3,57
t de Student	0,634	0,477	0,036	0,037	0,049	0,189
d de Cohen	0,24	0,30	0,91	0,87	0,89	0,71

PTL: prueba de tiempo límite; FC: frecuencia cardiaca; [La]: concentraciones de lactato sanguíneo; VAM: velocidad aeróbica máxima; BA: beta-alanina; PL: placebo; lpm: latidos por minuto; mmol·L⁻¹: milimoles por litro.

determina un patrón similar en la capacidad física de los sujetos. Adicionalmente, el propio autor informó que la dosis empleada no fue suficiente para aumentar el contenido muscular de la carnosina y que la duración del ejercicio empleado no resultó ser óptima (35 s) para observar algún efecto a través de la suplementación aguda con BA. En relación al tiempo de ejecución empleado por Invernizzi y cols. (19), Hobson y cols. (2) demostraron que la suplementación con BA mejora la capacidad de rendimiento durante ejercicios que duren aproximadamente 240 s. Por lo anterior, Invernizzi y cols. (19) no usaron una prueba con un tiempo adecuado para inducir un efecto asociado a la suplementación aguda con BA. Además, Hobson y cols. (2) proporcionaron evidencia del efecto ergogénico de la suplementación con BA debido a su capacidad *buffer* intramuscular, reduciendo que los H⁺ que se acumulan durante el ejercicio de alta intensidad con una duración de uno a cuatro minutos. De forma complementaria, Di Pierro y cols. (26) realizaron un estudio preliminar con una ingesta aguda oral de cuatro dosis de 500 mg (250 mg de carnosina y 250 mg de BA) en seis atletas masculinos sometidos a un periodo de entrenamiento intenso. Al término del estudio, se comprobó que la ingesta redujo la producción de lactato en todos los atletas; no obstante, los autores no detallan sobre el ejercicio realizado, la caracterización de la muestra empleada o los resultados obtenidos.

La gran mayoría de los estudios con BA han evidenciado los efectos de este aminoácido con suplementación prolongada (11,18,27-30). Se calculó un efecto global medio de un 2,85% (-0,37 a 10,49%) de incremento del rendimiento luego de la suplementación prolongada con BA, mientras que el tiempo de suplementación osciló entre dos y cuatro semanas (13) y la dosis, entre 2,4 g·día⁻¹ (30) y 6,4 g·día⁻¹ (31,32). Otras investigaciones han declarado incrementos sobre ese 2,85% calculado (14,31). Es así como Hill y cols. (14) y Sale y cols. (31) reportaron incrementos del 11,8% y 12,1% en el rendimiento luego de cuatro semanas de suplementación con BA respectivamente. Por otro lado, varias investigaciones han demostrado que la suplementación prolongada de BA (28 días) aumenta significativamente los niveles elevados de carnosina muscular total (8,14). Hasta la fecha, existen múltiples protocolos de suplementación prolongada de BA (2), pero los estudios no siempre se centran en el efecto ergogénico de la BA como un *buffer* intracelular, por lo que el uso de diferentes estrategias de dosificación y posibles fundamentos a los efectos evidenciados en el rendimiento deportivo no dejan claro si existe un vínculo directo entre la dosis de BA suplementada y el resultado del ejercicio (2). Adicionalmente, el interés de investigar los efectos con protocolos de suplementación aguda con BA se basa no solo en evitar la exposición a semanas de suplementación prolongada, sino también en asegurar que los deportistas usen las dosis establecidas de BA (8,27), para disminuir así el riesgo de exposición a los síntomas de parestesia, que aún siguiendo un esquema de suplementación prolongada no es excluyente a su aparición.

En relación a los efectos secundarios de la suplementación con BA, los primeros estudios informaron los resultados obtenidos al comparar la ingesta de BA con una dosis equivalente a 40 mg·kg⁻¹

de forma libre y la misma dosis pero contenida dentro de un caldo de pollo (8). Los investigadores informaron que tras la administración de la dosis de BA libre varios sujetos evidenciaron síntomas de sofocos, enrojecimiento y sensación espinosa desagradable en la piel (parestesia), con una duración de aproximadamente 60 min después de la ingesta (8). No obstante, ningún sujeto evidenció estos síntomas al ingerir la misma dosis contenida en un caldo de pollo, sugiriéndose que las dosis individuales de BA deben ir acompañadas de una dieta normal para limitar el riesgo de parestesia (8). Por tal motivo, en la presente investigación se llevó a cabo un control de la alimentación preentrenamiento (2 g·kg⁻¹ de peso de carbohidratos simples) 60 minutos antes de la suplementación aguda con BA (30 mg·kg⁻¹) y 120 minutos antes de ejecutar la PTL (Fig. 1A y B). Por lo anterior, en la presente investigación no se reportaron síntomas de parestesia por parte de los sujetos de estudio. De forma paralela, Maté-Muñoz y cols. (33) basaron su investigación en una suplementación con 6,4 g·día⁻¹ de BA con dosis de ocho tomas de 800 mg cada 1,5-3 horas de diferencia de ingesta entre tomas por cinco semanas, y aunque los autores expusieron una mejora significativa en la potencia promedio (mayor carga de entrenamiento logrado y más kilogramos levantados) en el grupo suplementado con BA, la mayor limitante reportada por los autores fue llevar a la práctica un protocolo de dosificación donde los deportistas se comprometían con cumplir estrictamente las ingestas señaladas por varias semanas (33).

Por último, en las respuestas individuales existe una variabilidad intersujeto posterior a la suplementación de BA (34), mientras que la variación en la síntesis de carnosina muscular en respuesta a la ingesta de BA es alta (9,14). En algunos estudios se ha descrito que las mujeres requieren menores niveles de suplementación de BA para obtener aumentos relativos similares en carnosina en comparación con los hombres (35). De hecho, según Stout y cols. (17), la suplementación con BA en mujeres aumenta el tiempo hasta el agotamiento y retrasa el inicio de fatiga neuromuscular. Estos datos, junto con el hecho de que la carga de carnosina se ve aumentada aún más en músculos entrenados (36), hacen interesante que la población investigada en el presente estudio cuente con siete deportistas entrenados (tres mujeres y cuatro hombres). En un estudio desarrollado por Glenn y cols. (27), se evaluaron los efectos de la suplementación aguda con BA en mujeres. Al término del estudio, los investigadores concluyeron que la suplementación de 1,6 g de BA no aumentó el rendimiento deportivo (índice de fatiga o potencia de salida), pero sí disminuyó significativamente la RPE (27). No obstante, la dosificación utilizada fue baja, no hubo individualización de suplementación por peso y el protocolo de prueba se basaba en tres pruebas repetidas de ciclismo de Wingate con dos minutos de descanso activo después de cada prueba, por lo que no cumple de igual manera con el tiempo estimado para observar efecto ergogénico en la suplementación con BA, ni con la intensidad constante requerida. Por lo anterior, y al existir poca evidencia en mujeres, se deben seguir explorando las respuestas de la suplementación aguda con BA en esta población.

En conclusión, nuestros hallazgos indican que la suplementación aguda con BA (30 mg·kg⁻¹) 60 minutos previos a una prueba

máxima aumenta el rendimiento deportivo en PTL a intensidades correspondientes a VAM, posiblemente por una mayor capacidad *buffer* del pH durante el ejercicio intenso con duración mayor a 240 s. Aunque las recomendaciones deben esperar más ensayos experimentales, estos hallazgos pueden ser útiles para entrenadores, nutricionistas deportivos, científicos deportivos y atletas que buscan suplementos nutricionales alternativos que mejoren el rendimiento físico evitando periodos de tres a seis semanas de suplementación con BA.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La principal limitación de nuestro estudio fue el pequeño tamaño de muestra ($n = 7$). Cuatro de los sujetos inscritos no cumplieron con los aspectos requeridos para llevar a cabo satisfactoriamente la PTL. Sin embargo, concluimos exitosamente con siete participantes que completaron adecuadamente el protocolo de *timing*, la suplementación con BA y las pruebas correspondientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Sale C, Saunders B, Harris RC. Effect of β -alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* 2010;39:321-33.
- Hobson RM, Saunders B, Ball G, Harris R, Sale C. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids* 2012;43:25-37.
- Hargreaves M, McKenna MJ, Jenkins DG, Warmington SA, Li JL, Snow RJ, et al. Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *J Appl Physiol* 1998;84(5):1687-91.
- Knuth ST, Dave H, Peters J, Fitts H. Low cell pH depresses peak power in rat skeletal muscle fibres at both 30 °C and 15 °C: implications for muscle fatigue. *J Physiol* 2006;575(3):887-99.
- 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.
- Galdames S, Huerta A, Guisado R, Cáceres P. Time to fatigue on lactate threshold and supplementation with sodium bicarbonate in middle-distance college athletes. *Arch Med Deporte* 2018;35(1):16-22.
- Pearl D, Siegler J, Vince R. Practical recommendations for coaches and athletes: a meta-analysis of sodium bicarbonate use for athletic performance. *J Strength Cond Res* 2012;26(7):1975-83.
- Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis LH, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Harris RC, Marlin DJ, Dunnett M, Snow DH, Hultman E. Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse, greyhound dog and man. *Comp Biochem Physiol* 1990;97:249-51.
- Saunders B, Elliott-Sale K, Artioli GG, Swinton PA, Dolan E, Roschel H, et al. Beta-alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2017;51:658-69.
- 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.
- Saunders B, Sunderland C, Harris RC, Sale C. β -alanine supplementation improves YoYo Intermittent Recovery Test performance. *J Int Soc Sports Nutr* 2012;9:39.
- Dunnett M, Harris RC. Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Vet J Suppl* 1999;30:499-504.
- 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.
- Van Thienen R, Van Proeyen K, Vanden Eynde B, Puype J, Lefere T, Hespel P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:898-903.
- Invernizzi PL, Benedini S, Saronni S, Merati G, Bosio A. The acute administration of carnosine and betaalanine does not improve running anaerobic performance and has no effect on the metabolic response to exercise. *Adv Phys Edu* 2013;3:169-74.
- Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 1974;32:77-97.
- Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sport Exer* 1995;27:1292-301.
- Fernandes RJ, Vilas-Boas JP. Time to exhaustion at the $\dot{V}O_{2,max}$ velocity in swimming: a review. *J Hum Kinet* 2012;32:121-34.
- Borg G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand Work Environ Health* 1990;16(1):55-8.
- 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.
- Ririe DG, Roberts PR, Shouse MN, Zaloga GP. Vasodilatory actions of the dietary peptide carnosine. *Nutrition* 2000;16:168-72.
- Di Piero F, Bertuccioli A, Bressan A, Rapacioli G. Carnosine-based supplement. *Nutrafoods* 2011;10(2-3):43-7.
- Glenn JM, Smith K, Moyer NE, Binns A, Gray M. Effects of acute beta-alanine supplementation on anaerobic performance in trained female cyclists. *J Nutr Sci Vitaminol* 2015;61:161-6.
- Hobson RM, Harris RC, Martin D, Smith P, Macklin B, Gualano B, et al. Effect of β -alanine with and without sodium bicarbonate on a 2,000-m rowing performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2013;23:480-7.
- Berti ZP, Donner AF, Guerini De Souza C. Effects of β -alanine supplementation on performance and muscle fatigue in athletes and non-athletes of different sports: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness* 2017;57(9):1132-41.
- 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.
- Sale C, Saunders B, Hudson S, Wise JA, Harris RC, Sunderland CD. Effect of b-alanine plus sodium bicarbonate on high intensity cycling capacity. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1972-8.
- Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effects of 10 weeks of resistance training combined with b-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids* 2008;34:547-54.
- Maté-Muñoz JL, Lougedo JH, Garnacho MV, Veiga P, Lozano M, García P, et al. Effects of β -alanine supplementation during a 5-week strength-training program: a randomized, controlled study. *J Int Soc Sports Nutr* 2018;15:19.
- Stellingwerff T, Decombaz J, Harris RC, Boesch C. Optimizing human in vivo dosing and delivery of b-alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids* 2012;43:57-65.
- Stegen S, Bex T, Vervaeke C, Vanhee L, Achten E, Derave W. β -alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46(7):1426-32.
- Bex T, Chung W, Baguet A, Stegen S, Stautemas J, Achten E, et al. Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles. *J Appl Physiol* 2014;116(2):204-9.