

Monograph

Efectos de la Suplementación con β -alanina junto con Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad sobre el Rendimiento de Resistencia y la Composición Corporal en Varones

Joel T Cramer², Travis W Beck², Jeffrey R Stout¹, Abbie E Smith¹, Ashley A Walter², Jennifer L Graef¹, Kristina L Kendall¹, Jordan R Moon¹, Christopher M Lockwood¹ y David H Fukuda¹

¹Metabolic and Body Composition Laboratory, Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, OK 73019, Estados Unidos.

²Biophysics Laboratory; Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, OK 73019, Estados Unidos.

RESUMEN

Antecedentes: Las series de ejercicio intermitente de alta intensidad provocan una reducción en la reserva de sustratos de energía, seguida por una acumulación de metabolitos, lo que promueve adaptaciones fisiológicas crónicas. Por otra parte, se sabe que la b-alanina es un efectivo *buffer* fisiológico de los iones hidrógeno (H^+). El entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) junto con la suplementación con b-alanina, pueden producir mayores adaptaciones que el HIIT solo. El propósito del presente estudio fue evaluar los efectos de combinar la suplementación con b-alanina con el entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) sobre el rendimiento de resistencia y el metabolismo aeróbico en varones universitarios recreacionalmente activos. **Métodos:** Cuarenta y seis varones (Edad: $22,2 \pm 2,7$ años; Talla: $178,1 \pm 7,4$ centímetros; Peso: $78,7 \pm 11,9$; VO_{2max} : $3,3 \pm 0,59$ L·min⁻¹) fueron evaluados para determinar el consumo máximo de O_2 (VO_{2max}), tiempo hasta la fatiga (VO_{2TTE}), umbral ventilatorio (VT), y trabajo total realizado a 110% del VO_{2max} pre-entrenamiento (TWD). Mediante un diseño en doble ciego, todos los sujetos fueron asignados al azar a un grupo que consumió un suplemento con un placebo (PL - 16,5 g de dextrosa en polvo por sobre; n = 18) o a un grupo que consumió un suplemento con b-alanina (BA - 1,5 g de alanina más 15 g de dextrosa en polvo por sobre; n = 18). Todos los sujetos consumieron el suplemento cuatro veces por día (total 6 g/día) durante los primeros 21-días, y luego dos veces por día (3 g/día) durante los 21 días subsecuentes, y realizaron un total de seis semanas de entrenamiento HIIT que consistió en 5-6 series de ciclismo en una relación de 2:1 de minutos de ejercicio de ciclismo: minutos de descanso. **Resultados:** Se observaron aumentos significativos en VO_{2max} , VO_{2TTE} , y TWD luego de tres semanas de entrenamiento ($p < 0,05$). Los aumentos en VO_{2max} , VO_{2TTE} , TWD y masa magra corporal solo fueron significativos en el grupo que consumió la BA después de las segundas tres semanas de entrenamiento. **Conclusión:** El uso de HIIT para inducir mejoras aeróbicas significativas es efectivo y eficiente. La suplementación crónica con BA puede mejorar aun más el HIIT aumentando el rendimiento en resistencia y la masa muscular magra.

Palabras Clave: amortiguador, pH, Rntrenamiento intervalado, resistencia

INTRODUCCION

El ejercicio de alta intensidad produce disminución en las reservas de adenosin trifosfato (ATP), fosfocreatina (PCr) y sustratos glucogénicos, y de la acumulación de metabolitos dentro de la célula [adenosin difosfato (ADP), fosfato inorgánico (Pi), iones hidrógeno (H^+) y magnesio (Mg^{+})], que han sido señalados como causantes de la fatiga muscular [1-3]. La formación excesiva de H^+ provoca una disminución en el pH intramuscular, lo que puede contribuir con la aparición de fatiga en algunos modelos de ejercicio [1,4-6]. El aumento en la capacidad de un individuo para tamponar los protones, puede retrasar la fatiga a través de la optimización del uso de sustratos de energía y del sostenimiento de la contracción muscular [6-9]. Cuando el tiempo y nivel de intensidad del ejercicio son suficientes, la mayoría de los protones que se producen son procesados por el sistema buffer de bicarbonato (HCO_3^-) [10,11] a través del cual son extraídos del músculo [12]. La amortiguación fisiológica de protones durante el ejercicio dinámico habitualmente está controlada por el sistema *buffer* del HCO_3^- y también por el sistema *buffer* físico-químico directo, a través del fosfato, los residuos de histidina de los péptidos y proteínas, y de la pequeña cantidad de bicarbonato presente en el músculo en el comienzo del ejercicio. Sin embargo, durante las series cortas de ejercicio de alta intensidad, como HIIT, el sistema *buffer* físico-químico excederá al sistema dinámico mediado por el HCO_3^- , recurriendo a las reservas intramusculares de fosfatos y péptidos.

Específicamente, la carnosina (b-alanil-L-histidina), un dipéptido citoplasmático, constituye un importante sistema *buffer* físico-químico no asociado al bicarbonato. En virtud de un pKa de 6,83 y de su elevada concentración en el músculo, la carnosina es más efectiva para secuestrar protones que el bicarbonato (pKa=6,37) y que el fosfato inorgánico (pKa=7,2), los otros dos sistemas buffer físico-químicos más importantes a lo largo del rango de pH fisiológico [7, 13]. Sin embargo, en el músculo a causa de la mayor concentración de carnosina que de bicarbonato, en las fases iniciales de la contracción muscular, y del fosfato inorgánico, su contribución como *buffer* puede ser cuantitativamente más importante.

Se han discutido algunos mecanismos para explicar la mayor concentración de carnosina en el músculo. Si bien la carnosina puede estar aumentada en los atletas crónicamente entrenados, los efectos del entrenamiento agudo no están tan claros. En un estudio, se informó que ocho semanas de entrenamiento intensivo pueden aumentar el contenido de carnosina intramuscular [14]. En contraste, muchos otros estudios han demostrado que el entrenamiento de alta intensidad, de más de 16 semanas de duración, ha sido incapaz de promover un aumento en los niveles de carnosina en el músculo esquelético [6,15-17]. Sólo cuando se combinó la suplementación con b-alanina con el entrenamiento se observó un aumento en los niveles de carnosina en el músculo [16], aunque el aumento (40-60%) era similar al que se observó con la suplementación sola [18].

Debido a que la carnosina es sintetizada en el músculo a partir de sus dos constituyentes, la b-alanina y la histidina [19], la síntesis está limitada por la disponibilidad de b-alanina [18,20]. Se ha observado que la suplementación con b-alanina sola, aumenta significativamente el nivel de carnosina intramuscular [6,18]. Se ha demostrado que el aumento en el contenido de carnosina intramuscular a través de la suplementación solo con b-alanina, aumenta el rendimiento [6, 14, 21-24]. Recientemente, Hill y colegas [6] demostraron un aumento del 13% en el trabajo total realizado (TWD) luego de cuatro semanas de suplementación con b-alanina, y un 3,2% de aumento adicional después de 10 semanas. Zoeller et al. [24] también informaron aumentos significativos en el umbral ventilatorio (VT) en una muestra de varones desentrenados luego de consumir un suplemento con b-alanina ($3,2 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) durante 28 días. De igual manera, Kim et al. [21] también reportaron aumentos significativos en VT y en el tiempo hasta el agotamiento (TTE) en ciclistas de sexo masculino altamente entrenados después de 12 semanas de consumir un suplemento con b-alanina ($4,8 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) y realizar entrenamiento de resistencia. Además, Stout et al. [22, 23] informaron un retraso significativo en la fatiga neuromuscular, medido por la capacidad de realizar trabajo físico en el umbral de la fatiga (PWCFT), en hombres y mujeres después de 28 días de consumir suplementos con b-alanina ($3,2 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ - $6,4 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$). A pesar de los aumentos en VT, TTE, TWD, y PWCFT después de la suplementación, no se observaron aumentos en la potencia aeróbica, medida por el $VO_{2\text{max}}$ [22 -24].

Aunque el HIIT por sí solo no parece aumentar el nivel de carnosina en el músculo esquelético [17], se ha sugerido que el entrenamiento mejoraría la capacidad *buffer* del músculo [25-27]. Cuando las series repetidas de intervalos de alta intensidad se intercalan con períodos cortos de descanso, las pruebas subsiguientes comienzan en niveles de pH mucho más bajos [28]. Un entrenamiento de ese tipo somete al cuerpo a un ambiente ácido, lo que fuerza diversas adaptaciones fisiológicas. Notablemente, se sabe que el HIIT aumenta el $VO_{2\text{max}}$ y la oxidación de grasas en el cuerpo entero en sólo dos semanas (7 sesiones a $90\% \text{ VO}_{2\text{max}}$) [29]. Además, se ha informado que el HIIT realizado durante un período de tiempo más largo (4-6 semanas), aumenta el rendimiento de ejercicios de alta intensidad (6-21%), la capacidad *buffer* del músculo, la oxidación de grasas en el cuerpo entero y la potencia aeróbica ($VO_{2\text{max}}$) [25-27].

La bibliografía que apoya respectivamente el consumo de suplementos con b-alanina sola y entrenamiento con ejercicios de alta-intensidad solo, ha incrementado recientemente su popularidad. Sin embargo, hasta la fecha, ningún estudio ha combinado y ha evaluado el HIIT junto con la suplementación con b-alanina. En teoría, nosotros planteamos la hipótesis

que un aumento en el volumen de carnosina intramuscular, como resultado de la suplementación con b-alanina, podría aumentar la calidad del HIIT reduciendo la acumulación de iones hidrógeno, lo que produciría mayores adaptaciones fisiológicas. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar los efectos de la suplementación crónica (6 semanas) con b-alanina en combinación con HIIT sobre los parámetros de rendimiento de resistencia en individuos recreacionalmente entrenados.

MÉTODOS

Sujetos

En este estudio participaron voluntariamente cuarenta y seis varones de edad universitaria que realizaban actividad de manera recreativa, de una a cinco horas por semana y no habían consumido ningún suplemento deportivo en los seis meses anteriores (Media \pm DS; edad: 22,2 \pm 2,7 años, talla: 178,1 \pm 7,4 centímetros, peso: 78,7 \pm 11,9 kg). Antes de registrarse y firmar el consentimiento informado, los sujetos fueron informados sobre los potenciales riesgos, beneficios y requisitos de tiempo. Todos los procedimientos del estudio fueron aceptados por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad.

Diseño del Estudio

Este estudio aleatorizado en doble-ciego, incluyó dos períodos de tres semanas de HIIT y suplementación con b-alanina. Todos los participantes realizaron una serie de evaluaciones al comienzo, en la mitad y al final del test, entre las que se incluyeron una serie de pruebas de ciclismo y valoración de la composición corporal mediante pletismografía con desplazamiento de aire, (BodPod®) en todos los tiempos. Luego de las evaluaciones iniciales (línea de base), los sujetos fueron asignados al azar, en doble ciego, a uno de dos grupos; grupo que recibió un suplemento con b-alanina o grupo que consumió un suplemento con un placebo y ambos grupos realizaron HIIT. Los valores iniciales de VO_{2max} de los participantes fueron utilizados para establecer la intensidad del TWD y la intensidad del entrenamiento de seis semanas de duración, sin modificación de la intensidad luego de las evaluaciones realizadas en la mitad del test. El primer período de tres semanas de entrenamiento fue realizado con cargas de trabajo comprendidas entre 90%-110% del VO_{2max} de cada individuo, mientras que las segundas tres-semanas de entrenamiento se realizaron a un valor máximo de 115%. Mientras realizaban el entrenamiento, los participantes consumieron un suplemento de 6 g por día de b-alanina o de una placebo durante las primeras tres semanas y 3 g por día durante la segunda etapa de tres semanas. Se ha demostrado que la suplementación con 6,4 g por día de b-alanina, durante 28 días produce un aumento de 60% en la concentración de carnosina [6,18], lo que apoya la elección de una etapa de 21 días, para permitir un período de carga adecuado para que la b-alanina provoque aumentos en la concentración de carnosina intramuscular. Además, la bibliografía reciente sugiere que se producen aumentos aun mayores en los niveles de carnosina al combinar entrenamiento de alta-intensidad y suplementación con b-alanina [17]. Luego de la fase de adaptación de tres semanas, se realizaron los tests a mitad del entrenamiento y después del entrenamiento en el mismo orden que los tests que se realizaron antes del entrenamiento con, por lo menos, 48 horas entre cada sesión de evaluación. Se instruyó a todos los sujetos para que mantuvieran su dieta actual a lo largo del estudio y se les solicitó que no consumieran cafeína y no realizaran ejercicio vigoroso 24 horas antes de las sesiones de evaluación. Se distribuyó registros de comidas a todos los participantes que debían ser completados (dos días de la semana no consecutivos y un día durante el fin de semana) al principio, a mitad y a final de la evaluación para evaluar cualquier cambio en la ingesta total de kcal y/o de proteínas.

Determinación de VO_{2max}

Al comienzo, a la mitad y al finalizar el entrenamiento, todos los participantes realizaron un test de esfuerzo progresivo (GXT) en una bicicleta ergométrica con freno electrónico (*Corval 400, Goningen, The Netherlands*) para determinar el VO_{2max} , el tiempo hasta el agotamiento (VO_{2TTE}) y el umbral ventilatorio (VT). La cadencia de pedaleo se mantuvo a 70 rpm, mientras que la producción de potencia se fijó inicialmente en 50 W, para la entrada en calor de cinco minutos, y luego cada dos minutos se incrementaba 25 W, hasta que el participante ya no pudiera mantener la producción de potencia requerida (la cadencia disminuía por debajo de 60 rpm). Los gases respiratorios fueron monitoreados por respiración y fueron analizados mediante espirometría de circuito abierto (*True One 2400® Metabolic Measurement System, Parvo-Medics Inc., Provo UT*) para determinar VO_{2max} y VT. Los datos fueron promediados en intervalos de 15 segundos. El mayor valor de VO_2 durante el intervalo de 15 segundos en el GXT, fue registrado como valor de VO_{2max} si cumplía con por lo menos dos de los siguientes criterios: (A) un *plateau* en la frecuencia cardíaca (HR) o valores de HR dentro de 10% de la HRmax establecida para la edad, (B) un *plateau* en VO_2 (definido por un aumento en el valor superior a 150 ml·min⁻¹), y/o (c) un valor de RER superior a 1,15 [30]. La frecuencia cardíaca también fue monitoreada continuamente durante el ejercicio mediante un monitor de frecuencia cardíaca (*Polar FS1, Polar Electro Inc. Lake Success, NY*). El tiempo transcurrido hasta alcanzar el agotamiento (VO_{2TTE}) durante el VO_{2max} también fue registrado en

segundos. El umbral ventilatorio (VT) fue determinado utilizando un software estándar (*True One 2400® Metabolic Measurement System, Parvo-Medics Inc., Provo UT*) graficando la ventilación (VE) en función del VO_2 tal como se describiera previamente [31]. Se dibujaron dos curvas de ajuste de regresión lineal en las porciones inferiores y superiores de la curva de VE vs. VO_2 , antes de y después de los puntos de ruptura, respectivamente. La intersección de estas dos líneas fue definida como VT y fue registrado con respecto a la producción de potencia correspondiente (W).

La confiabilidad *test-re-test* del protocolo de $\text{VO}_{2\text{max}}$ obtenida en la Universidad de Oklahoma con veintidós varones, demostró que existe confiabilidad entre los días de prueba, con un coeficiente de correlación intraclassa (ICC) de 0,975 (SEM 0,257 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) y un coeficiente de variación porcentual (% CV) de 5,18%.

Trabajo Total realizado en el Test de Ciclismo

Cada sujeto realizó una prueba de determinación de tiempo hasta el agotamiento con carga constante (TTE) en una bicicleta ergométrica con freno electrónico, con una cadencia de ~70 rpm. Los participantes realizaron una entrada en calor de cinco minutos a 50 W, seguida por un ejercicio de ciclismo hasta el agotamiento con la carga de trabajo individual predeterminada, establecida a 110% de la carga de trabajo máxima en $\text{VO}_{2\text{max}}$ (W). El TTE de los sujetos fue definido como el tiempo (en segundos), durante el cual se podía mantener la cadencia sin bajar de 60 rpm. Luego se calculó el trabajo total realizado (TWD) como la principal variable de interés, usando el producto de tiempo (en segundos) y la producción de potencia (W), dividido por 1000, y expresado en kilojoules (kJ).

Las estadísticas de confiabilidad para TWD reflejaron un fuerte ICC igual a 0,713 (SEM 25,2 kJ) y un % CV de 3,80%.

Intervención de Entrenamiento y Suplementación con b-alanina

El entrenamiento se realizó en una bicicleta ergométrica con freno electrónico (*Corval 400, Groningen, The Netherlands*) para mantener la especificidad de la prueba. Los participantes comenzaron la sesión de entrenamiento supervisada dentro de los dos a cuatro días después de haber realizado las evaluaciones. Luego de las evaluaciones iniciales (línea de base) y de la asignación al azar a los grupos, los sujetos comenzaron el primero de los dos períodos de entrenamiento de tres semanas. El entrenamiento se realizó siguiendo un modelo de periodización fractal para permitir la progresión adecuada y prevenir el sobreentrenamiento [32]; y fue realizado tres días por semana. La intensidad del entrenamiento comenzó a 90% de la producción de potencia máxima (W) alcanzada durante la prueba de $\text{VO}_{2\text{max}}$ en la línea de base y progresó de manera oscilante, alcanzando un máximo de 115% a finales del segundo período de entrenamiento de tres semanas. El primer período de tres semanas consistió en cinco series con intervalos de dos minutos con períodos de descanso de un minuto. La segunda serie de tres semanas se realizó siguiendo un protocolo similar, pero modificando la progresión, aumentando las repeticiones de cinco a seis durante las semanas seis y siete, y también durante tres días por semana (Figura 1). En cada sesión de entrenamiento se completó un registro de entrenamiento. El tiempo total (segundos) transcurrido y la carga de trabajo (watts) fueron utilizados para calcular el volumen de entrenamiento total (kJ) (Figura 2).

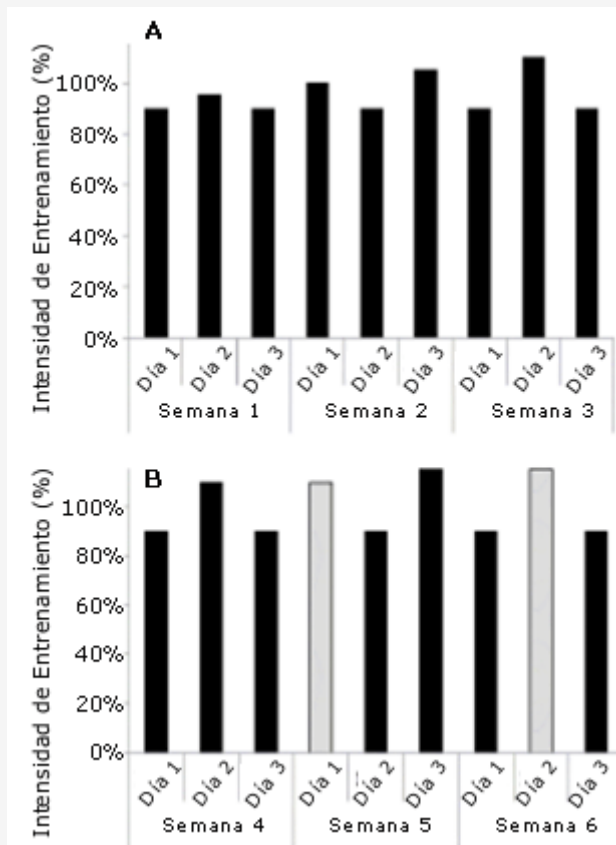


Figura 1. Protocolo de entrenamiento para la primera y segunda fase de entrenamiento de tres semanas respectivamente. En negro se presentan las 5 series de entrenamiento 2:1 mientras que el color gris representa seis series del mismo protocolo 2:1.

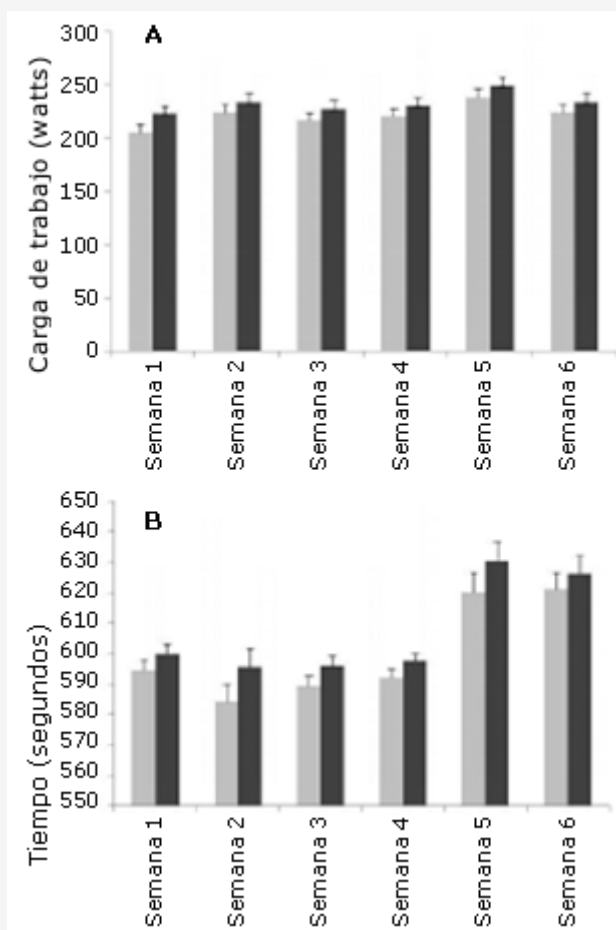


Figura 2. Valores de carga de entrenamiento semanal (watts) (2A) y de tiempo de entrenamiento (seg) (2B) encontrados en los dos grupos de estudio; BA (negro) y Placebo (gris), durante el protocolo de entrenamiento de seis semanas. Los datos se presentan en forma de $\text{Media} \pm \text{DS}$.

Durante el primer período de tres semanas, además de entrenar, los participantes también consumieron un suplemento con 6 g por día de b-alanina (1,5 g b-alanina, 15 g de dextrosa por dosis) o con un placebo (16,5 g de dextrosa por dosis). Los suplementos se mezclaron con agua en un polvo de dextrosa con sabor a naranja y se consumieron cuatro veces a lo largo del día. En los tres días que los sujetos acudieron al laboratorio para entrenar, consumieron dos dosis mezcladas previamente; una 30 minutos antes de realizar la sesión de entrenamiento y la otra inmediatamente después. Las otras dos dosis restantes fueron consumidas ese mismo día, en el momento que cada participante quisiera. En los otros cuatro días de la semana, se instruyó a los participantes para que mezclaran y consumieran las cuatro dosis (6 g por día) de su suplemento respectivo, en el momento que desearan. A lo largo del segundo período de tres semanas de entrenamiento, los participantes consumieron el suplemento de la misma manera en los días que entrenaban y en los días en que entrenaban durante los 21 días adicionales, con una dosis de 3 g por día tomados en dos dosis de 16,5 g (1,5g de b-alanina, 15g de dextrosa). Los participantes del grupo que consumió el placebo consumieron un polvo disuelto en el mismo volumen (16,5 g de dextrosa) con la misma apariencia y sabor que el suplemento con b- alanina. Se solicitó a los participantes que registraran cada dosis en un registro designado para las dosis de cada día y les solicitó que trajeran el envase del suplemento para que los investigadores pudieran supervisar el cumplimiento.

Determinación de la Composición Corporal

La composición corporal se evaluó antes, a la mitad y luego del entrenamiento y la suplementación a través de pletismografía con desplazamiento de aire (Bod Pod®). El peso de los sujetos (kg) y el volumen corporal fueron medidos y utilizados para determinar el porcentaje de adiposidad corporal, la masa grasa (kg) y la masa corporal magra (kg) utilizando la fórmula revisada de Brozek et al. [33].

Análisis Estadísticos

Para establecer si existía alguna interacción grupo por tiempo, se realizaron diferentes ANOVA de mediciones repetidas de

dos vías (grupo b-alanina vs placebo) × tiempo [antes vs en la mitad vs. post-suplementación]). Si se constataba una interacción significativa, el modelo estadístico se modificaba para analizar los efectos principales simples mediante diferentes ANOVA de mediciones repetidas de una vía para cada grupo y ANOVA factorial de una vía para cada uno de los tiempos. La significancia estadística se fijó en un nivel de alfa $p \leq 0,05$. Todos los datos se informan en forma de Media \pm desviación estándar (SD).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los valores de Media y desviación estándar para VO_{2max} ($L \cdot min^{-1}$), VO_{2TTE} (segundos), VT (watts) y TWD (kJ) para ambos grupos antes, en la mitad y al finalizar el entrenamiento.

		Consumo de Oxígeno máximo ($L \cdot min^{-1}$)		Tiempo hasta el Agotamiento (s)		Umbral Ventilatorio (W)		Trabajo Total Realizado (kJ)	
		β -alanina	Placebo	β -Alanina	Placebo	β -Alanina	Placebo	β -Alanina	Placebo
Pre	Media	3,28	3,25	1168,2	1128,7	140,3	127,3	58,4	55,7
	DS	0,57	0,63	163,6	166,9	35,5	42,6	19,2	13,8
Mid	Media	3,52 *	3,56 *	1304,9 *	1258,7 *	154,2	140,3	89,0 *	83,3 *
	DS	0,49	0,56	153,7	204,5	36,6	52,3	30,1	25,7
Post	Media	3,67 †	3,66	1386,7 †	1299,6	172,2	188,9†	131,3†	102,0†
	DS	0,58	0,55	234,9	164,9	65,2	58,3	81,7	36,7

Tabla 1. Valores de VO_{2max} ($L \cdot min^{-1}$), VO_{2TTE} (s), VT (W) y TWD (kJ) obtenidos antes (Pre), a mitad (Mid) y al finalizar (Post) el entrenamiento, expresados en forma de Media \pm DS. * Indica diferencias significativas entre los valores determinados antes (Pre) y a mitad (Mid) del entrenamiento ($p < 0,05$). † Se observa un aumento significativo desde los valores observados a la mitad del entrenamiento (Mid) a los observados al finalizar el mismo (Post) ($p < 0,05$).

VO_{2max} , VO_{2TTE} , VT en la Prueba de Esfuerzo Progresiva (GXT)

Se observaron efectos principales significativos del factor tiempo en el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), tiempo hasta el agotamiento (VO_{2TTE}) y umbral ventilatorio (VT) determinados durante la prueba de esfuerzo progresivo ($p < 0,001$). Se observaron aumentos significativos en el VO_{2max} después de tres semanas de entrenamiento y suplementación en ambos grupos ($p < 0,001$; ES: 0,977), pero no se observaron diferencias significativas entre los grupos en los aumentos del VO_{2max} en ningún punto, sólo el grupo que consumió la beta-alanina presentó aumentos significativos entre los valores encontrados a la mitad y los encontrados al final del entrenamiento y de la suplementación ($p = 0,010$) y no se observaron cambios significativos en los valores encontrados a la mitad y los encontrados al final del entrenamiento y de la suplementación, en el grupo que consumió el placebo (PL) ($p = 0,118$). También se observaron resultados similares para VO_{2TTE} en ambos grupos, lo que demuestra aumentos significativos desde los valores observados antes (pre) hacia los valores que se observaron a mitad (Mid) del entrenamiento ($p < 0,001$; ES: 0,983), pero no se observaron diferencias entre los grupos. En el VO_{2TTE} solo se observaron cambios significativos entre los valores observados a mitad del entrenamiento (Mid) y los observados al final (Post) del mismo sólo en el grupo que consumió la beta alanina (BA) ($p = 0,043$).

No se observaron diferencias significativas entre los grupos, en el aumento en VT. Los aumentos que se produjeron entre los valores de VT medidos antes del entrenamiento (Pre) y los medidos a mitad del mismo (Post) en los grupos PL y BA no alcanzaron la significancia estadística. Sin embargo, el grupo PL fue el único grupo que presentó aumentos significativos desde los valores observados a mitad del entrenamiento a los valores observados luego del entrenamiento ($p = 0,001$).

Prueba de Determinación del Tiempo hasta el Agotamiento -TWD

Los aumentos en TWD fueron significativos en todos los tiempos, pero no se observaron diferencias entre los grupos ($p > 0,05$; ES: 0,898). Aunque no fueron significativos, los valores delta de los dos tiempos fueron mayores en el grupo que consumió BA [Pre-Mid: $30,6 \pm 19,9$ seg; Mid-Post: $42,3 \pm 72,1$ seg] que en el grupo que consumió el placebo (PL) [Pre-Mid: $27,6 \pm 22,1$; Mid-Post: $18,6 \pm 28,3$].

Composición Corporal

En la Tabla 2 se presentan las características físicas de los sujetos determinadas en la mitad del entrenamiento y después de seis semanas de HIIT y suplementación. La masa corporal no cambió significativamente con el consumo del suplemento ni con el entrenamiento. Sin embargo, la determinación de composición corporal mediante pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod®) reveló un aumento significativo desde los valores observados antes (Pre) a los valores observados a mitad del entrenamiento (Mid) en la masa magra corporal sólo en el grupo BA ($p = 0,011$; ES: 0,985) y ningún cambio en el grupo PL ($p = 0,138$). Por otra parte no se observó ningún cambio significativo en el porcentaje de grasa corporal ($p = 0,287$) ni en la masa grasa ($p = 984$) entre los grupos en estudio luego de tres y seis semanas de HIIT y suplementación.

	β -alanina (n = 18)			Placebo (n = 18)		
	Pre	Mid	Post	Pre	Mid	Post
Peso (kg)	78,8 ± 12,8	80,1 ± 13,0	79,8 ± 12,4	78,5 ± 11,3	79,3 ± 12,3	79,8 ± 11,9
Grasa corporal (%)	13,7 ± 6,3	13,7 ± 6,4	13,7 ± 5,6	16,1 ± 7,5	15,9 ± 8,3	16,0 ± 7,9
Masa Magra Corporal (kg)	67,6 ± 8,9 *	68,6 ± 8,6	68,4 ± 8,4	65,5 ± 8,1	66,1 ± 8,5	65,8 ± 8,4
Masa grasa (kg)	11,3 ± 6,5	11,5 ± 6,8	11,3 ± 6,0	13,0 ± 7,1	13,1 ± 8,0	13,0 ± 7,8

Tabla 2. Valores de peso corporal (kg), grasa corporal (%), masa magra corporal (kg) y masa grasa (kg) antes (Pre), a mitad (Mid) y al finalizar (Post) el entrenamiento. Los valores se presentan en forma de Media±DS. * Indica diferencias significativas entre los valores observados antes (Pre) y los observados a la mitad (Mid) del entrenamiento ($p < 0,05$).

Análisis de la Dieta

No se observaron diferencias significativas en la tasa de cumplimiento del consumo de suplementos y de la realización de ejercicios entre los grupos, lo que representó una ingesta diaria de 6,4 -3,2 g para el grupo BA, durante la tercera y sexta semana respectivamente. El análisis de los registros dietarios no arrojó ninguna diferencia significativa en la ingesta calórica ($p > 0,05$) entre el grupo BA (3120 ± 244 kcal) y el grupo que ingirió el placebo (PL) (2775 ± 209 kcal). Además no se observaron diferencias, en la ingesta diaria de macronutrientes, ya que ambos grupos consumían entre sus calorías diarias 47% de carbohidratos, 34% de grasas y 16% de proteínas.

Volumen de Entrenamiento

Se observó un efecto principal significativo del tiempo ($p < 0,01$) tanto para el volumen de entrenamiento (watts) como para el tiempo de entrenamiento (segundos). Sin embargo, no se observó ninguna diferencia significativa, entre los grupos en el volumen (Figura 2A) ni en el tiempo (Figura 2B), en ningún momento (semanas 1-6). Si bien la diferencia no fue significativa, el grupo BA entrenó consistentemente con mayores cargas de trabajo y durante períodos de tiempo más largos.

DISCUSION

Este estudio es el primero que analiza los efectos del entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) junto con el consumo de un suplemento con b-alanina, sobre una serie de variables fisiológicas y de rendimiento. Los resultados principales apoyan el uso de HIIT como una herramienta de entrenamiento ventajosa. Además, el presente estudio también propone el uso de la suplementación con b-alanina para reforzar los beneficios de HIIT, posiblemente a través del aumento de la capacidad *buffer* muscular luego de seis semanas de entrenamiento y suplementación. El consumo de oxígeno máximo y el tiempo necesario para alcanzar el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max} , VO_{2TTE}) y el trabajo total realizado (TWD) aumentaron significativamente en ambos grupos de estudio (b-alanina y placebo) a lo largo de las seis semanas del protocolo de HIIT (Tabla 1). Sin embargo la suplementación con b-alanina tendría una influencia mayor en VO_{2max} y VO_{2TTE} , lo que produciría un aumento significativo ($p < 0,05$) durante las segundas tres semanas de entrenamiento, mientras que en el grupo que consumió el placebo no se observó ningún cambio. También se reportaron incrementos de 32% y 18% en TWD ($p < 0,05$) en el grupo que consumió b-alanina y placebo, respectivamente durante las últimas tres semanas. También se informaron mejoras en VT para ambos grupos de entrenamiento, sin embargo el grupo placebo presentó aumentos

significativos durante la última fase de entrenamiento de tres semanas (Tabla 1). Por último, el presente estudio también identificó un cambio significativo en el contenido de masa corporal magra en el grupo que consumió el suplemento con b-alanina luego de tres semanas, pero no se observaron cambios en el grupo que consumió el placebo.

Aumento en VO_{2max} , VO_{2TTE} y VT después del Entrenamiento

Una serie de intervenciones de HIIT sugirió que el ejercicio intervalado ($>80\% VO_{2max}$) produce mayores aumentos en la capacidad aeróbica que el ejercicio de intensidad moderada [34-36]. Por lo tanto, los aumentos en la aptitud cardiorrespiratoria, informados en el presente estudio, fueron similares a los observados en la mayoría de los estudios que emplearon programas de entrenamiento intervalado de resistencia a corto plazo (2-9 semanas) en individuos desentrenados y recreacionalmente activos [25,29,34,37-40]. Específicamente, los incrementos promedio informados de VO_{2max} variaron de 6-20% en poblaciones de varones y mujeres. Aunque los regímenes de entrenamiento utilizados variaban ligeramente, los estudios que apoyan nuestros resultados aplicaron un protocolo similar. El uso de un diseño que contemplaba una proporción trabajo-descanso de 1:1 [37, 38, 40 o 2:1 [29, 34, 39] (1-4 minutos) ha sido el más efectivo para promover un aumento en la capacidad aeróbica. Nuestros datos concuerdan con publicaciones previas, sugiriendo un 7-10% de aumento en VO_{2max} durante la primera fase de entrenamiento de tres semanas y un incremento de 3-4,5% durante la segunda fase de tres semanas. Si bien ambos grupos presentaron aumentos significativos en los valores de VO_{2max} y VO_{2TTE} determinados antes (Pre) y a mitad (Mid) del entrenamiento, sólo el grupo que consumió b-alanina presentó aumentos significativos entre los valores observados a mitad del entrenamiento y los observados al final del mismo (Post) (Tabla 1).

Se ha demostrado que el uso de ejercicios de alta intensidad como una modalidad de entrenamiento estimula las adaptaciones fisiológicas agudas y crónicas (cardiovasculares, metabólicas, respiratorias y nerviosas), lo que finalmente produce un mayor rendimiento [34, 37, 41]. Los aumentos en VO_{2max} , VO_{2TTE} , y VT informados en el presente estudio coinciden con otros estudios, que han sugerido que los aumentos en el rendimiento aeróbico pueden ser atribuidos a una reducción en la producción de ATP anaeróbico, como resultado de la mayor contribución de producción de energía aeróbica en cargas de trabajo de mayor intensidad [42, 43]. La mayor dependencia sobre el metabolismo aeróbico para obtener energía, ha sido vinculada adicionalmente con una regulación en ascenso o *upregulation* de varias enzimas de la glucólisis (fosfofructoquinasa, hexoquinasa, citrato sintetasa y la sodio-potasio ATPasa) [42, 44-47], así como también con una mayor densidad mitocondrial y mayor flujo de sangre debido a la mayor capilarización [44, 45]. Estos aumentos, junto con una mayor capacidad de llevar a cabo la actividad *buffer* de H^+ , proporcionarían una explicación sobre los aumentos mayores observados en la segunda fase de las tres semanas de entrenamiento, sólo en el grupo BA. Si bien los niveles de pH sanguíneo no se midieron directamente, los datos del volumen de entrenamiento (Figura 2A) y tiempo de entrenamiento (Figura 2B), demuestran que los participantes que consumieron el suplemento con b-alanina realizaron sesiones de entrenamiento más largas, y más intensas, lo que probablemente produciría mayores adaptaciones.

Aumentos en TWD

Además de los aumentos en VO_{2max} , VO_{2TTE} y VT, el programa de HIIT utilizado en este estudio provocó aumentos significativos en TWD (Tabla 1). Notablemente, los aumentos en el trabajo total realizado en el presente estudio fueron mayores que los aumentos informados previamente en TWD después de la realización de HIIT solo [48-50], ya que durante las primeras tres semanas de entrenamiento ambos grupos presentaron aumentos de 50-53% y después de la segunda fase de tres semanas de entrenamiento el grupo que consumió b-alanina presentó un aumento de 32% mientras que en el grupo que consumió el placebo, el aumento fue de 18%. Coincidentemente, Kim et al. [21] observaron aumentos significativamente mayores en TWD en ciclistas altamente entrenados después de 12 semanas de haber consumido un suplemento con b-alanina y de haber realizado un programa de entrenamiento de resistencia, en comparación con el entrenamiento solo. Además, Hill et al. [6] también demostraron aumentos significativos en TWD (13%) en ejercicios en una bicicleta ergométrica después de cuatro semanas de suplementación con b-alanina, sin entrenamiento. Si bien los datos parecen apoyar el consumo de suplementos con b-alanina para aumentar TWD, con y sin entrenamiento, los estudios previamente mencionados fueron realizados con participantes altamente entrenados, en comparación con una población de sujetos no entrenados del presente estudio.

Los científicos han sugerido en el consumo de b-alanina podría mejorar las adaptaciones al entrenamiento [6, 18, 23], aumentando la capacidad de entrenar a una mayor intensidad sin fatigarse. Recientemente Harris et al. [18] y Hill et al [6] han postulado que el aumento de la concentración de carnosina en el músculo esquelético a través de la suplementación con b-alanina, podría aumentar la capacidad para estabilizar el pH intramuscular durante el ejercicio de alta intensidad a través del tamponamiento de los H^+ acumulados. Se ha observado que la compensación del efecto indirecto de la acumulación de protones sobre la función contráctil a través del consumo de b-alanina, sería eficaz para demorar la fatiga neuromuscular, aumentar VT y el tiempo hasta el agotamiento, tanto en los individuos entrenados como en los individuos desentrenados [6, 21, 23, 24]. Además, Kim et al. [21] informaron un aumento significativo en VT después de 12 semanas de entrenamiento de resistencia y sobrecarga mediante el consumo de suplementos con b-alanina en ciclistas altamente

entrenados. Sin embargo, nuestros resultados no demostraron ningún beneficio adicional de combinar la suplementación con b-alanina con HIIT para producir aumentos en VT, mayores a los que produce el entrenamiento solo. Las diferencias en el estado de entrenamiento (élite vs. entrenados recreacionalmente) podría haber producido resultados contradictorios entre el presente estudio y el estudio de Kim y colegas. Investigaciones adicionales sobre los efectos de la suplementación de b-alanina junto con HIIT en varones y mujeres entrenados versus varones y mujeres desentrenados proporcionaría una visión adicional sobre los resultados actuales.

Aumento en la Masa Corporal Magra

Notablemente, los aumentos en el rendimiento durante las seis-semanas de entrenamiento también se asociaron con aumentos en la masa magra corporal solo en el grupo que consumió b-alanina. Evidencia reciente sugiere que el ejercicio de alta intensidad puede producir acidosis intramuscular, aumentando potencialmente la degradación de proteínas [51], inhibiendo la síntesis de proteínas [52] e impidiendo así las adaptaciones al entrenamiento. Otra teoría sugiere que la suplementación con b-alanina podría haber permitido un mayor volumen de entrenamiento proporcionando así un mayor estímulo, lo que produciría aumentos significativos en la masa corporal magra, tal como observamos en el presente estudio. En coincidencia con esto, Hoffman et al. [53, 54] informaron un volumen de entrenamiento significativamente mayor para atletas que consumieron b-alanina durante sesiones de entrenamiento con sobrecarga, y los autores plantearon la hipótesis que esto provocaría aumentos significativos en la masa magra corporal. En síntesis, la disminución de la respuesta de acidosis causada por HIIT, y/o el incremento en el volumen de entrenamiento con la suplementación con b-alanina, podría ayudar a aumentar la masa magra corporal y producir aumentos en el rendimiento.

Conclusión

Nuestros resultados apoyan el uso de HIIT como estímulo de entrenamiento eficaz para aumentar el rendimiento aeróbico, en un tiempo tan corto como tres semanas. El consumo de un suplemento con b-alanina junto con HIIT, provocaría mayores cambios en VO_{2max} y VO_{2TTE} , durante las segundas tres semanas de entrenamiento, pero en el grupo que consumió el placebo no se observaron cambios significativos. Además, TWD aumentó significativamente ($p < 0,05$) 32% y 18% durante las últimas tres semanas en el grupo b-alanina y placebo, respectivamente. Si bien es necesario realizar investigaciones adicionales, el presente estudio sugiere que en los varones jóvenes no entrenados, el consumo de suplementos con b-alanina podría aumentar los beneficios del HIIT y el rendimiento de resistencia.

Intereses de competencia

Los autores declaran que no poseen intereses de competencia

Contribuciones de los autores

Todos los autores contribuyeron igualmente con este trabajo. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente a Dr. Roger Harris, de la Universidad de Chichester, Chichester, Reino Unido, por su tiempo y por los aportes con los cuales contribuyó para revisar este manuscrito. Los autores también desean agradecer a *FSI Nutrition*, Sur 2132 Círculo 156, Omaha, NE <http://www.fsinutrition.com> y a *RunFast Promotions*, Wendy Lane South 8790, West Palm Beach, 33411 <http://www.runfastpromotions.com> por apoyar y consolidar este esfuerzo de investigación.

REFERENCIAS

1. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 287(3):R502-516
2. Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, Heigenhauser GJ, Jones NL (1989). Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of applied physiology*, 66(1):8-13
3. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1):287-332
4. Messonnier L, Kristensen M, Juel C, Denis C (2007). Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol*, 102(5):1936-1944
5. Potteiger JA, Webster MJ, Nickel GL, Haub MD, Palmer RJ (1996). The effects of buffer ingestion on metabolic factors related to distance running performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 72(4):365-371
6. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Sale C, Boobis LH, Kim CK, Wise JA (2007). Influence of beta-alanine supplementation on

- skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino acids*, 32(2):225-233
7. Abe H (2000). Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry*, 65(7):757-765
 8. Suzuki Y, Nakao T, Maemura H, Sato M, Kamahara K, Morimatsu F, Takamatsu K (2006). Carnosine and anserine ingestion enhances contribution of nonbicarbonate buffering. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(2):334-338
 9. McNaughton L, Backx K, Palmer G, Strange N (1999). Effects of chronic bicarbonate ingestion on the performance of high-intensity work. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(4):333-336
 10. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986). Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. *J Appl Physiol*, 60(2):472-478
 11. Juel C (2008). Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 193(1):17-24
 12. Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krstrup P, Mohr M, Bangsbo J (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *American journal of physiology*, 286(2):E245-251
 13. Bate-Smith EC (1938). The buffering of muscle in rigor: Protein, phosphate and carnosine. *The Journal of physiology*, 92:336-343
 14. Suzuki Y, Ito O, Mukai N, Takahashi H, Takamatsu K (2002). High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *The Japanese journal of physiology*, 52(2):199-205
 15. Derave W, Ozdemir MS, Harris RC, Pottier A, Reyngoudt H, Koppo K, Wise JA, Achten E (2007). beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol*, 103(5):1736-1743
 16. Harris RC, Edge J, Kendrick IP, Bishop D, Goodman C, Wise JA (2007). The Effect of Very High Interval Training on the Carnosine Content and Buffering Capacity of V Lateralis from Humans. *FASEB J*, 21:769
 17. Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, Bui TT, Smith M, Wise JA (2008). 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*, 34(4):547-554
 18. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, Fallowfield JL, Hill CA, Sale C, Wise JA (2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino acids*, 30(3):279-289
 19. Bakardjiev A, Bauer K (1994). Transport of beta-alanine and biosynthesis of carnosine by skeletal muscle cells in primary culture. *European journal of biochemistry/FEBS*, 225(2):617-623
 20. Dunnett M, Harris RC, Soliman MZ, Suwar AA (1997). Carnosine, anserine and taurine contents in individual fibres from the middle gluteal muscle of the camel. *Research in veterinary science*, 62(3):213-216
 21. Kim HJ, Kim CK, Lee YW, Harris RC, Sale C, Harris BD, Wise JA (2006). The effect of a supplement containing B-alanine on muscle carnosine synthesis and exercise capacity, during 12 week combined endurance and weight training. *J Int Soc Sports Nutr*, 3:S9
 22. Stout JR, Cramer JT, Mielke M, O'Kroy J, Torok DJ, Zoeller RF (2006). Effects of twenty-eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 20(4):928-931
 23. Stout JR, Cramer JT, Zoeller RF, Torok D, Costa P, Hoffman JR, Harris RC, O'Kroy J (2007). Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino acids*, 32(3):381-386
 24. Zoeller RF, Stout JR, O'Kroy JA, Torok DJ, Mielke M (2007). Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino acids*, 33(3):505-510
 25. Edge J, Bishop D, Goodman C (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European journal of applied physiology*, 96(1):97-105
 26. Laursen PB, Jenkins DG (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, NZ)*, 32(1):53-73
 27. Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by welltrained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 1997, 75(1):7-13
 28. Costill DL, Verstappen F, Kuipers H, Janssen E, Fink W (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO₃. *International journal of sports medicine*, 5(5):228-231
 29. Talanian JL, Galloway SD, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of applied physiology*, 102(4):1439-1447
 30. Day JR, Rossiter HB, Coats EM, Skasick A, Whipp BJ (2003). The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *J Appl Physiol* 2003, 95(5):1901-1907
 31. Orr GW, Green HJ, Hughson RL, Bennett GW (1982). A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *J Appl Physiol*, 52(5):1349-1352
 32. Brown L, Greenwood M (2005). Periodization Essentials and Innovations in Resistance Training Protocols. *JSCR*, 27(4):80-85
 33. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A (1963). Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 110:113-140
 34. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, et al (2007). Aerobic highintensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4):665-671
 35. Rognmo O, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slordahl SA (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 11(3):216-222

36. Thomas TR, Adeniran SB, Etheridge GL (1984). Effects of different running programs on VO₂ max, percent fat, and plasma lipids. *Canadian journal of applied sport sciences*, 9(2):55-62
37. Berger NJ, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM (2006). Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(3):504-512
38. Burke J, Thayer R, Belcamino M (1994). Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *British journal of sports medicine*, 28(1):18-21
39. Duffield R, Edge J, Bishop D (2006). Effects of high-intensity interval training on the VO₂ response during severe exercise. *Journal of science and medicine in sport/Sports Medicine Australia*, 9(3):249-255
40. Eddy DO, Sparks KL, Adelizi DA (1977). The effects of continuous and interval training in women and men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 37(2):83-92
41. Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A (2007). Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO₂max. *Journal of strength and conditioning research/ National Strength & Conditioning Association*, 21(1):188-192
42. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of applied physiology*, 75(2):712-719
43. Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, Thompson MW, Mackay NA, Stathis CG, Crameri RM, et al (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *Journal of applied physiology*, 89(5):1793-1803
44. Henriksson J (1992). Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle. *Diabetes care*, 15(11):1701-1711
45. Krstrup P, Hellsten Y, Bangsbo J (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *The Journal of physiology*, 559(Pt 1):335-345
46. Nordsborg N, Bangsbo J, Pilegaard H (2003). Effect of high-intensity training on exercise-induced gene expression specific to ion homeostasis and metabolism. *Journal of applied physiology*, 95(3):1201-1206
47. Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cusso R, Parra J (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European journal of applied physiology*, 82(5[6]):480-486
48. Coggan AR, Kohrt WM, Spina RJ, Kirwan JP, Bier DM, Holloszy JO (1992). Plasma glucose kinetics during exercise in subjects with high and low lactate thresholds. *Journal of applied physiology*, 73(5):1873-1880
49. Demarle AP, Heugas AM, Slawinski JJ, Tricot VM, Koralsztein JP, Billat VL (2003). Whichever the initial training status, any increase in velocity at lactate threshold appears as a major factor in improved time to exhaustion at the same severe velocity after training. *Archives of physiology and biochemistry*, 111(2):167-176
50. Gaiga MC, Docherty D (1995). The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*, 20(4):452-464
51. Caso G, Garlick PJ (2005). Control of muscle protein kinetics by acidbase balance. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care 2005*, 8(1):73-76
52. Ballmer PE, Imoberdorf R (1995). Influence of acidosis on protein metabolism. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif)*, 11(5):462-468. discussion 470
53. Hoffman J, Ratamess N, Faigenbaum A, Ross R, Kang J, Stout J, Wise JA (2007). Short-duration beta-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutrition Research*, 28(1):31-35
54. Hoffman J, Ratamess N, Kang J, Mangine G, Faigenbaum A, Stout J: (2006). Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolismo*, 16(4):430-446

Cita Original

Smith Abbie E., Ashley A Walter, Jennifer L Graef, Kristina L Kendall, Jordan R Moon, Christopher M Lockwood, David H Fukuda, Travis W Beck, Joel T Cramer y Jeffrey R Stout: Effects of β -alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 6:5. 2009