



# ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD Y EL IMPACTO DE LA DIETA

Martin J. Gibala, PhD | Departamento de Kinesiología | Universidad de McMaster | Canadá

## PUNTOS CLAVE

- Aunque la mayoría de los estudios se han enfocado en el ejercicio tradicional aeróbico/resistencia o fuerza, las intervenciones dietéticas también pueden alterar las respuestas agudas y crónicas al ejercicio de tipo interválico.
- Es difícil sacar conclusiones firmes con respecto al efecto de manipulaciones dietéticas específicas sobre las adaptaciones al entrenamiento de intervalos ya que los hallazgos de los estudios limitados, los cuales varían con respecto al nivel de entrenamiento de los sujetos, la naturaleza del ejercicio y las intervenciones nutricionales, son ambiguos.
- Restringir la disponibilidad de carbohidratos altera la activación aguda inducida por el ejercicio de moléculas señalizadoras sensibles a nutrientes específicos, y el entrenamiento periódico utilizando esta práctica puede aumentar la ganancia en el contenido mitocondrial y posiblemente, la capacidad de ejercicio.
- La ingesta de bicarbonato de sodio mejora la capacidad aguda de ejercicio de alta intensidad y puede aumentar el rendimiento por las mejoras inducidas por el entrenamiento, con una evidencia limitada que sugiere que esta adaptación puede estar relacionada a una capacidad mejorada para la respiración mitocondrial.
- La suplementación con beta-alanina aumenta el contenido de carnosina en el músculo esquelético y mejora el rendimiento durante ejercicio agudo de alta intensidad, pero no aumenta las adaptaciones del músculo esquelético o del rendimiento al entrenamiento de intervalos.

## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento interválico de alta intensidad generalmente se refiere a episodios repetidos de ejercicio relativamente intenso intercalados con periodos de descanso o ejercicio de menor intensidad para la recuperación. Ha sido muy apreciado por los atletas que los “intervalos” son un medio efectivo para aumentar la provisión de energía aeróbica cuando se suman a un programa de entrenamiento bien estructurado, aunque la “mezcla” óptima de intensidad vs. volumen para el rendimiento continúa en debate (Laursen, 2010). Un resurgimiento del interés en el tema de entrenamiento interválico durante la última década ha avanzado nuestro conocimiento de los mecanismos fisiológicos por los cuales el entrenamiento de intervalos incrementa la provisión de energía aeróbica en individuos saludables normales además de aquellos en riesgo o afectados por enfermedades crónicas (Gibala et al., 2012; Gibala & Jones, 2013; Weston et al., 2014). Uno de los hallazgos más notables de esta investigación ha sido que el entrenamiento de intervalos per se es un estímulo potente para inducir adaptaciones fisiológicas que se parecen a cambios normalmente asociados con entrenamiento de resistencia tradicional, a pesar de un volumen total de ejercicio más bajo y el compromiso de reducir el tiempo de entrenamiento (Gibala et al., 2012; Gibala et al., 2014).

Con respecto a la nomenclatura, y dada la amplia variedad de protocolos y descripciones de entrenamiento interválico, recientemente se propuso un esquema de clasificación con el fin de probar y estandarizar la terminología en las publicaciones científicas (Weston et al., 2014). Se sugirió que “entrenamiento interválico de alta intensidad” (HIIT por sus siglas en inglés) se utilice para describir protocolos en los cuales el estímulo de entrenamiento es “cercano al máximo” o la intensidad objetivo esté entre 80-100% de la frecuencia cardiaca máxima, mientras que “entrenamiento interválico de sprint” se utilice para describir protocolos que involucren esfuerzos “con todo” o “supra máximos”, en los cuales las intensidades objetivo corresponden a cargas de trabajo mayores a las que se requieren

para obtener el consumo máximo de oxígeno (Weston et al., 2014). Sin embargo, para simplificar y dado el uso generalizado del acrónimo en los círculos deportivos, aquí se utilizará exclusivamente el término HIIT, junto con descripciones claras de las intervenciones de entrenamiento empleadas en varios estudios.

El propósito de esta breve revisión es considerar el potencial de las intervenciones nutricionales, ya sea en la forma de ajuste en el consumo de macronutrientes o la ingesta de suplementos nutricionales específicos, para alterar la respuesta adaptativa al entrenamiento interválico. Aunque está bien establecido que las estrategias nutricionales específicas pueden modular las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento, la mayoría de los estudios se han enfocado en ejercicio tradicional aeróbico/resistencia o de fuerza (Hawley et al., 2011). Las intervenciones nutricionales también pueden alterar la respuesta al ejercicio de tipo interválico, y aquí el énfasis se pondrá en estudios recientes que han examinado respuestas al entrenamiento bajo condiciones de reducción de la disponibilidad de carbohidratos y el impacto de la ingesta de bicarbonato y la suplementación con beta-alanina en las respuestas al entrenamiento.

## DISPONIBILIDAD REDUCIDA DE CARBOHIDRATOS

Normalmente se les recomienda a los atletas que consuman de manera habitual una dieta alta en carbohidratos, ya que éste es el principal macronutriente utilizado como energía durante el ejercicio de alta intensidad. Paradójicamente, como revisaron recientemente Bartlett y colaboradores (2015), se ha reportado que comenzar al menos algunas sesiones de entrenamiento con disponibilidad reducida de carbohidratos aumenta las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento. La base teórica para este concepto es que el glucógeno es más que un sustrato para energía, sino más bien su disponibilidad en el músculo esquelético (es decir, una falta relativa o un excedente) puede regular la respuesta adaptativa al ejercicio (Philp et al., 2012). También es posible que manipulando la disponibilidad

de carbohidratos se altere a otros intermediarios metabólicos y así podría inducir adaptaciones que son independientes de los cambios en el contenido de glucógeno per se (Baar, 2014).

Con respecto a los estudios que han examinado específicamente si la manipulación en la disponibilidad de carbohidratos influye en la respuesta adaptativa al entrenamiento de intervalos, los investigadores han alterado de forma aguda el consumo de macronutrientes antes del ejercicio (Bartlett et al., 2013) y también durante la recuperación entre sesiones dobles de entrenamiento diario (Cochran et al., 2010). Se ha observado que comenzar el ejercicio con un contenido reducido de glucógeno muscular (Bartlett et al., 2013), o restringiendo el consumo de carbohidratos antes de una segunda sesión diaria de ejercicio (Cochran et al., 2010), aumenta la activación aguda de las cascadas de señalización molecular ligadas a la remodelación del músculo esquelético durante la recuperación. Por ejemplo, Cochran y colaboradores (2010) estudiaron a 10 hombres que realizaron dos pruebas en orden aleatorio separadas por 1 semana. Cada prueba consistió en una sesión de entrenamiento por la mañana y otra por la tarde, incluyendo ambas 5 x 4 min de ciclismo a ~90-95% de la frecuencia cardíaca de reserva. Las sesiones estuvieron separadas por 3 h de recuperación durante las cuales los sujetos ingirieron una bebida alta en carbohidratos (AL-AL) o un placebo no energético (AL-BA) antes de la sesión de entrenamiento de la tarde. Las biopsias revelaron que la fosfocreatina del músculo y el contenido de adenosin trifosfato (ATP) fueron similares después del ejercicio por la mañana pero disminuyeron en mayor medida después de la sesión de entrenamiento por la tarde en AL-BA vs. AL-AL. Esto estuvo asociado con una mayor fosforilación de la proteína quinasa activada por el mitógeno p38, aunque no hubo diferencia entre pruebas en la expresión de otra proteína importante que regula la biogénesis mitocondrial, el coactivador 1-alfa del receptor gama activador del proliferador de peroxisomas (PGC-1 $\alpha$ ). Utilizando un diseño experimental diferente, Bartlett y colaboradores (2013) también demostraron que comenzar ejercicio de intervalos con un contenido de glucógeno muscular reducido incrementó la fosforilación de la proteína reguladora p53, aunque similar a Cochran y colaboradores (2010), esto no estuvo asociado con cambios en la expresión de PGC-1 $\alpha$  inducida por el ejercicio. Aunque una multitud de intermediarios metabólicos pueden estar en juego (Baar, 2014), estos estudios agudos proporcionan evidencia de moléculas señalizadoras sensibles a nutrientes que podrían potencialmente alterar la respuesta crónica al entrenamiento bajo condiciones de consumo restringido de carbohidratos.

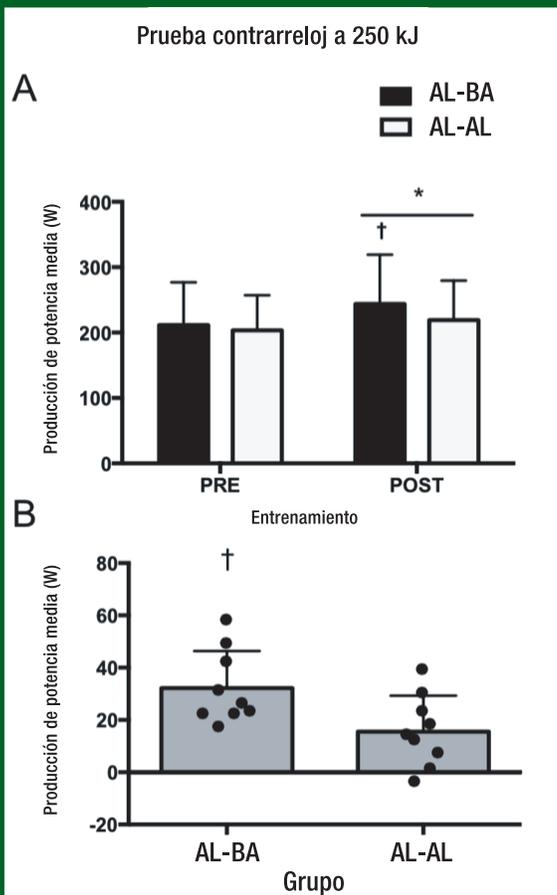
Varios estudios han reportado que manipulando crónicamente la disponibilidad de carbohidratos durante el curso de un programa de entrenamiento de intervalos se altera la respuesta adaptativa del músculo esquelético (para una revisión, ver Bartlett et al., 2015). Por ejemplo, Morton y colaboradores (2009) tuvieron tres grupos de hombres activos de manera recreativa que realizaron carrera intermitente de alta intensidad cuatro veces por semana por 6 semanas. Los grupos 1 y 2 entrenaron dos veces al día, 2 días/semana, e ingirieron ya sea una bebida de glucosa o un placebo, a intervalos regulares durante la segunda sesión diaria. El tercer grupo entrenó una vez al día, 4 días/semana y no consumió bebida durante el ejercicio. El entrenamiento aumentó el contenido mitocondrial en todos los grupos, como se evidenció por el incremento en la actividad máxima de la succinato deshidrogenasa, pero el aumento fue mayor en los sujetos que entrenaron dos veces al día y no recibieron carbohidratos (Grupo 2). Los autores concluyeron que el entrenamiento bajo condiciones de disponibilidad reducida de carbohidratos proporcionaron un estímulo aumentado para inducir adaptaciones enzimáticas oxidativas del músculo esquelético, aunque esto no se tradujo en una mejoría en el rendimiento durante el ejercicio

de alta intensidad. En general estos resultados son consistentes con la mayoría de otros estudios que han manipulado la disponibilidad de carbohidratos a través de una noche de ayuno y/o manipulado la alimentación con carbohidratos entre dos sesiones de ejercicio al día, y reportado que no hay diferencias en el rendimiento en el ejercicio entre grupos (Bartlett et al., 2015).

Se ha sugerido que bloques cortos de “entrenar bajo” pueden ser más prácticos y beneficiosos que intervenciones más largas, dado que periodos prolongados de entrenamiento bajo condiciones de disponibilidad reducida de carbohidratos son potencialmente perjudiciales a causa de comprometer la función inmune y aumentar la degradación de la proteína muscular. Cochran y colaboradores (2015a) examinaron recientemente si la restricción del consumo de carbohidratos entre sesiones dobles diarias de ejercicio interválico durante un periodo de dos semanas aumentaría las mejorías en el rendimiento en el ejercicio y el contenido mitocondrial. Utilizando un diseño similar al estudio agudo realizado por el mismo grupo de investigadores (Cochran et al., 2010), 18 sujetos activos pero no altamente entrenados fueron pareados por edad, género y nivel de condición física y aleatoriamente asignados a uno de los dos grupos. En cada uno de los seis días de entrenamiento durante 2 semanas, los sujetos completaron dos sesiones de entrenamiento separadas por 3 h. Cada sesión incluyó 5 x 4 min de intervalos en bicicleta a una intensidad del 60% de la producción de potencia pico alcanzada durante la prueba de  $VO_2$  pico, intercalados con 2 min de recuperación. Los sujetos ingirieron ya sea ~200 g de carbohidratos (AL-AL) o <20 g de carbohidratos (AL-BA) durante el periodo de 3 h entre sesiones. El hallazgo más interesante fue que la mejoría inducida por el entrenamiento sobre el rendimiento en la prueba contrarreloj en bicicleta a 250 kJ fue mayor en el grupo AL-BA comparado con el grupo AL-AL (Figura 1). El mecanismo para la adaptación al rendimiento superior no fue fácilmente evidente, ya que los incrementos inducidos por el entrenamiento en los marcadores enzimáticos del contenido mitocondrial no fueron diferentes entre grupos. Aunque se requiere más investigación para determinar si individuos más altamente entrenados responden de manera similar, el estudio de Cochran y colaboradores (2015a) es el primero en mostrar que una intervención de entrenamiento a corto plazo de “entrena bajo, compite alto” puede mejorar la capacidad de ejercicio de todo el cuerpo.

## CONSUMO DE BICARBONATO

El bicarbonato es un ion extracelular que juega un papel en el mantenimiento del pH de la sangre. El consumo de grandes cantidades de bicarbonato transitoriamente aumenta el bicarbonato de la sangre y el pH, dando como resultado una mejoría en la capacidad de amortiguar cambios en la acidez celular bajo condiciones de aumento en la acumulación de iones hidrógeno, por ej., durante el ejercicio extenuante. Aunque no está claro el papel preciso del pH en la fatiga muscular, está bien establecido que incrementar la capacidad buffer a través de la carga de bicarbonato puede mejorar de forma aguda el rendimiento en ejercicio de alta intensidad (Burke 2013). El consumo de bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ) es una práctica común en este aspecto, y un meta-análisis concluyó que la ingesta de una dosis equivalente a ~0.3 g/kg de masa corporal mejoró el rendimiento durante un solo sprint de 60 s en ~2%, con un efecto modificador de ~1% adicional cuando los sprints son repetidos (Carr et al., 2011). Combinar el consumo crónico de bicarbonato de sodio con entrenamiento interválico es potencialmente beneficioso porque la capacidad de producir trabajo es elevada, lo cual puede llevar a su vez a un mayor estímulo acumulado de entrenamiento.



**Figura 1.** Medición del rendimiento en el ejercicio antes y después de 2 semanas de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) con baja (AL-BA; barras negras) o alta (AL-AL; barras blancas) disponibilidad de carbohidratos en la segunda sesión diaria. Panel A) producción de potencia media (W) medida durante una prueba contrarreloj a 250 kJ. Panel B) el efecto del entrenamiento sobre la producción de potencia media en la prueba contrarreloj (W) para los grupos AL-BA y AL-AL, con los puntos de los datos individuales mostrados en círculos negros. \* $p < 0.05$ , efecto principal del entrenamiento; †  $p < 0.05$ , interacción entre entrenamiento y grupo. Reproducido con permiso de Cochran et al. (2015a).

También hay evidencia de que la suplementación con bicarbonato de sodio per se altera favorablemente la respuesta metabólica al HIIT tanto que las adaptaciones aumentan aun si el estímulo del entrenamiento permanece constante. Edge y colaboradores (2006) estudiaron 16 mujeres moderadamente entrenadas que realizaron 24 sesiones de entrenamiento interválico durante 8 semanas. Cada sesión incluyó 6-12 intervalos en bicicleta de 2 min a 140-170% de su umbral de lactato, y el trabajo total se emparejó entre grupos. De manera ciega, los sujetos ingirieron ya sea bicarbonato de sodio o un placebo antes de cada sesión de entrenamiento. El incremento inducido por el entrenamiento en el umbral de lactato y el tiempo hasta la fatiga durante el ejercicio a una intensidad equivalente al 100% del  $\dot{V}O_{2pico}$  pre-entrenamiento fue más alto en el grupo de bicarbonato de sodio comparado con el placebo. Los autores especularon que el consumo de bicarbonato pudo haber reducido la acidosis metabólica durante el entrenamiento o estimulado una mayor mejoría en la capacidad oxidativa del músculo (Edge et al., 2006).

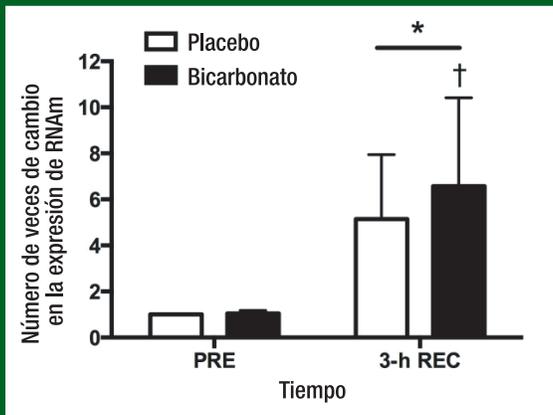
En apoyo a esta teoría, Bishop y colaboradores (2010) reportaron que la capacidad respiratoria mitocondrial en ratas se aumentó en mayor medida cuando se implementó HIIT con bicarbonato de sodio en comparación con un placebo, y estuvo asociado con un incremento 52% mayor en el tiempo de carrera hasta la fatiga en el grupo de bicarbonato de

sodio. Ratas macho fueron asignadas aleatoriamente ya sea a un grupo control, placebo o bicarbonato de sodio. El primero sirvió como un control sedentario, mientras que los otros dos grupos ingirieron ya sea agua o bicarbonato de sodio 30 min antes del entrenamiento, el cual consistía de 7-12 intervalos de carrera de 2 min realizados 5 veces/semana por 5 semanas. Al comparar con el control, así como con el tratamiento placebo, la mejoría inducida por el entrenamiento en los marcadores de la masa mitocondrial y la respiración mitocondrial aumentaron en mayor medida en el grupo de bicarbonato de sodio.

Aunque ningún estudio de entrenamiento en humanos ha intentado replicar los hallazgos de Bishop y colaboradores (2010), recientemente Percival y colegas (2015) probaron la hipótesis de que el consumo de bicarbonato de sodio antes de una sesión aguda de entrenamiento de intervalos aumentaría las cascadas de señalización y la expresión genética ligada a la biogénesis mitocondrial en el músculo esquelético humano. En dos ocasiones separadas por una semana, hombres activos pero no altamente entrenados realizaron un protocolo HIIT que incluyó 10 esfuerzos de 60 s en bicicleta a una intensidad alcanzando ~90% de la frecuencia cardíaca máxima, intercalada con 60 s de recuperación. De manera cruzada y doble ciego, los sujetos ingirieron un total de 0.4 g/kg de masa corporal de bicarbonato de sodio, administrado en dos dosis de la mitad a los 90 y 60 min antes del ejercicio, o una cantidad equimolar de un placebo, cloruro de sodio. En muestras de sangre venosa se confirmó que el bicarbonato y el pH estuvieron elevados en todos los puntos de tiempo después del consumo en la condición de suplementación con bicarbonato, y esto estuvo asociado con una mayor utilización de glucógeno muscular y acumulación de lactato en sangre durante el ejercicio. El incremento agudo inducido por el ejercicio en la fosforilación de la acetil-CoA carboxilasa, un marcador intermedio de la actividad de la proteína quinasa activada por AMP, y la proteína quinasa activada por el mitógeno p38 fueron similares entre tratamientos. Sin embargo, el aumento en la expresión del RNAm de PGC-1 $\alpha$  después de 3 h de recuperación fue mayor (7 veces por encima del reposo) después del consumo de bicarbonato de sodio comparado con el placebo (5 veces por encima del reposo) (Figura 2). Los autores concluyeron que el consumo de bicarbonato de sodio alteró la expresión de esta proteína reguladora clave asociada con la biogénesis mitocondrial. La respuesta elevada del RNAm de PGC-1 $\alpha$  proporciona un mecanismo aparente para explicar la mejoría en la adaptación mitocondrial vista después del entrenamiento interválico crónico combinado con la suplementación de bicarbonato en ratas.

### SUPLEMENTACIÓN DE BETA-ALANINA

La beta-alanina ( $\beta$ -alanina) es un aminoácido no proteínogénico y es el precursor que determina la tasa de síntesis de la carnosina, un dipéptido formado junto con histidina que funciona como un buffer fisiológicamente relevante del pH en el músculo esquelético (Harris & Stellingwerff, 2013). Ahora está bien establecido que la suplementación con  $\beta$ -alanina puede incrementar el contenido de carnosina en el músculo esquelético humano, con numerosos factores influyendo en este proceso, que incluyen la dosis y la duración de la suplementación así como la composición de la comida y el nivel de entrenamiento (Blancquaert et al., 2015). Muchos estudios han examinado el potencial de la  $\beta$ -alanina para aumentar el rendimiento agudo en el ejercicio, y un meta-análisis (Hobson et al., 2012) concluyó que la  $\beta$ -alanina es beneficiosa para el ejercicio con duración  $\geq 1$  min, es decir, la duración de un episodio que es característica de muchos tipos de protocolos de entrenamiento interválico. Aunque el mismo meta-análisis determinó que el efecto fue ausente para duraciones de ejercicio más cortas, se ha demostrado posteriormente que la  $\beta$ -alanina incrementa el rendimiento durante ejercicio intermitente, de tipo repetitivo, en el cual la duración del episodio de alta intensidad es  $< 60$  s (Blancquaert et al., 2015).

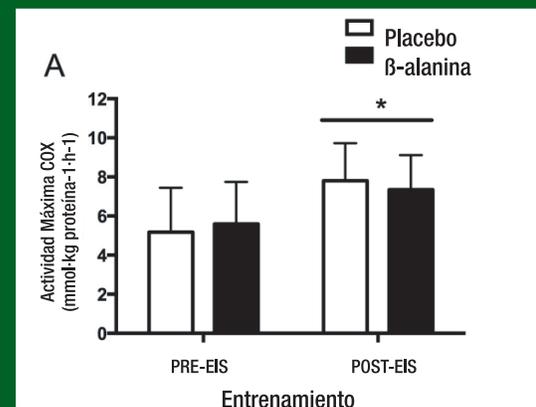


**Figura 2.** Expresión del RNAm del coactivador 1-alfa del receptor gama activador del proliferador de peroxisomas (PGC-1 $\alpha$ ) medido antes y 3 horas después de una sesión aguda de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) suplementada con bicarbonato de sodio (BICARB, barras oscuras) o un placebo (PLAC, barras abiertas). \*Efecto principal para el tiempo comparado con PRE ( $p < 0.05$ ). †Diferencia significativa entre BICARB y PLAC en el mismo punto de tiempo ( $p < 0.05$ ). Reproducido con permiso de Percival et al. (2015).

Dado el potencial de la suplementación con  $\beta$ -alanina para incrementar el rendimiento agudo en el ejercicio de alta intensidad (Blancquaert et al., 2015), los investigadores han considerado el potencial de esta práctica para aumentar las adaptaciones al entrenamiento interválico (Cochran et al., 2015b; Gross et al., 2014). Gross y colaboradores (2014) tuvieron 16 hombres activos que ingirieron ya sea 3.2 g/día de  $\beta$ -alanina o un placebo de dextrosa durante 38 días ( $n=8$  por grupo), siendo la suplementación descontinuada antes de un bloque de 11 días de entrenamiento interválico. El programa incluyó un total de 9 sesiones, cada una consistiendo de un calentamiento de 10 min, seguido por 4 episodios x 4 min de ciclismo a una intensidad que alcanzara ~90-95% de la frecuencia cardíaca máxima, intercalada con 3 min de ciclismo ligero para la recuperación. Se realizó una batería de pruebas metabólicas y de tolerancia al ejercicio en tres momentos: antes y después de la suplementación y después de la intervención de entrenamiento. La espectroscopía de resonancia magnética confirmó que el protocolo de suplementación con  $\beta$ -alanina aumentó significativamente el contenido de carnosina del músculo de la pierna en ~32% antes del entrenamiento, aunque hubo una variabilidad considerable en esta respuesta. La suplementación con  $\beta$ -alanina estuvo asociada con un aumento en la contribución de la energía aeróbica durante una prueba que incluyó 90 s de ciclismo intenso a ~110% de la producción de potencia pico (relativa al  $\text{VO}_2$  pico), comparado con antes de la suplementación. A pesar del incremento en el contenido de carnosina del músculo después de la suplementación con  $\beta$ -alanina, no hubo diferencias entre grupos en las adaptaciones al entrenamiento. El entrenamiento aumentó la capacidad buffer medida en muestras de biopsias del músculo vasto lateral, pero no hubo cambios en los marcadores mitocondriales de la capacidad oxidativa o el metabolismo energético aeróbico durante el ejercicio de ciclismo intenso.

Cochran y colaboradores (2015b) también examinaron el efecto de la suplementación con  $\beta$ -alanina sobre el músculo esquelético y las adaptaciones al rendimiento del entrenamiento interválico en hombres jóvenes activos. Utilizando un diseño aleatorizado doble ciego similar al de Gross et al. (2014), el estudio incluyó una dosis diaria de 3.2 g de  $\beta$ -alanina o un placebo de dextrosa. Sin embargo, una diferencia clave fue que después de un periodo de 4 semanas de suplementación estándar,

los sujetos continuaron ingiriendo ya sea  $\beta$ -alanina o cápsulas de placebo durante el curso de una intervención con entrenamiento de 6 semanas. Cada una de las tres sesiones semanales consistió en 4-6 pruebas de Wingate, es decir, episodios de 30 s de ciclismo máximo ("con todo"), intercalados con 4 min de ciclismo ligero para recuperación. Antes y después del programa de entrenamiento, los sujetos completaron una prueba contrarreloj de 250 kJ y una prueba de sprints repetidos. Las biopsias del músculo vasto lateral revelaron que el contenido de carnosina del músculo incrementó en ~33 y ~52% después de 4 y 10 semanas de suplementación con  $\beta$ -alanina, pero no cambiaron en la condición placebo. El trabajo total realizado durante el entrenamiento aumentó por encima del protocolo de entrenamiento interválico, pero el incremento fue similar entre tratamientos a pesar de las diferencias en el contenido de carnosina del músculo. De manera similar, aunque el entrenamiento interválico aumentó los marcadores del contenido mitocondrial (Figura 3), así como el  $\text{VO}_2$  pico, la capacidad de realizar sprints repetidos, y el rendimiento en la prueba contrarreloj de 250 kJ, no hubo diferencia entre tratamientos. Los autores propusieron que el estímulo del entrenamiento de sprint pudo haber anulado cualquier influencia potencial de la  $\beta$ -alanina, o que el protocolo de suplementación fue insuficiente para alterar mediblemente las variables investigadas. En resumen, con base en un número limitado de estudios realizados hasta la fecha, hay poca evidencia actualmente que sugiera que la suplementación con  $\beta$ -alanina incremente las adaptaciones fisiológicas o de rendimiento al entrenamiento interválico.



**Figura 3.** Los efectos de la suplementación con  $\beta$ -alanina o placebo sobre la actividad máxima de la citocromo c oxidasa (COX). EIS (Entrenamiento interválico de sprint). \*Efecto principal del tiempo comparado con PRE ( $p < 0.05$ ). Reproducido con permiso de Cochran et al. (2015b).

## RESUMEN Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Numerosas intervenciones nutricionales podrían en teoría aumentar la respuesta adaptativa al entrenamiento interválico, ya sea por 1) mejorar el metabolismo energético durante el ejercicio, lo cual podría facilitar un mayor trabajo total y un aumento en el estímulo de entrenamiento crónico, o 2) promover algunos aspectos de la respuesta adaptativa durante la recuperación, lo cual puede llevar a incrementar las adaptaciones fisiológicas en el tiempo. En la práctica, los hallazgos ambiguos de los estudios limitados, los cuales varían con respecto al nivel de entrenamiento de los sujetos y la naturaleza del ejercicio e intervenciones nutricionales empleadas, hace difícil sacar conclusiones firmes con respecto al efecto de manipulaciones dietéticas específicas sobre las adaptaciones al entrenamiento interválico. Esta limitación se refuerza por la dificultad intrínseca de extrapolar las mediciones derivadas del laboratorio al ambiente competitivo típico del atleta.

Con respecto a las intervenciones específicas revisadas aquí, hay datos que sugieren que restringir la disponibilidad de carbohidratos de forma aguda altera la activación inducida por el ejercicio de moléculas señalizadoras sensibles a nutrientes específicos, y alguna evidencia sugiere que el entrenamiento periódico en esta forma puede aumentar las ganancias en el contenido mitocondrial y posiblemente, la capacidad de ejercicio. El consumo de bicarbonato de sodio mejora la capacidad de ejercicio agudo de alta intensidad y puede aumentar las mejoras en el rendimiento inducidas por el entrenamiento, con evidencia limitada que sugiere que esta adaptación puede estar relacionada a una mejora en la capacidad de respiración mitocondrial. Finalmente, la suplementación con  $\beta$ -alanina aumenta el contenido de carnosina del músculo esquelético y mejora el rendimiento durante el ejercicio agudo de alta intensidad, pero no parece aumentar las adaptaciones del músculo esquelético o del rendimiento al entrenamiento interválico.

## REFERENCIAS

- Baar, K. (2014). Nutrition and the adaptation to endurance training. *Sports Med.* 44:S5-12.
- Bartlett, J.D., J. Louhelainen, Z. Iqbal, A.J. Cochran, M.J. Gibala, W. Gregson, G.L. Close, B. Drust, and J.P. Morton (2013). Reduced carbohydrate availability enhances exercise-induced p53 signaling in human skeletal muscle: implications for mitochondrial biogenesis. *Am. J. Physiol.* 304:R450-458.
- Bartlett, J.D., J.A. Hawley, and J.P. Morton (2015). Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? *Eur. J. Sport Sci.* 15:3-12.
- Bishop, D.J., C. Thomas, T. Moore-Morris, M. Tonkonogi, K. Sahlin, and J. Mercier (2010). Sodium bicarbonate ingestion prior to training improves mitochondrial adaptations in rats. *Am. J. Physiol.* 299: E225-233.
- Blancquaert, L., I. Everaert, and W. Derave (2015). Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 18:63-70.
- Burke, L.M. (2013). Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 75:15-26.
- Carr, A.J., W.G. Hopkins, and C.J. Gore (2011). Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: a meta-analysis. *Sports Med.* 2011 41:801-814.
- Cochran, A.J., J.P. Little, M.A. Tarnopolsky, and M.J. Gibala (2010). Carbohydrate feeding during recovery alters the skeletal muscle metabolic response to repeated sessions of high-intensity interval exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 108:628-636.
- Cochran, A.J.C., F. Myslik, M.J. MacInnis, M.E. Percival, D. Bishop, M. Tarnopolsky, and M.J. Gibala (2015a). Manipulating carbohydrate availability between twice- daily sessions of high-intensity interval training over two weeks improves time-trial performance. *Int. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* Mar 26, E-pub, PMID 25811132.
- Cochran, A.J.R., M.E. Percival, S. Thompson, J.B. Gillen, M.J. MacInnis, M.A. Tarnopolsky, M. Potter, and M.J. Gibala (2015b). Beta-alanine supplementation does not augment the skeletal muscle adaptive response to six weeks of sprint- interval training. *Int. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* May 22, E-pub, PMID 26008634.
- Edge, J., Bishop, D., and C. Goodman (2006). Effects of chronic NaHCO<sub>3</sub> ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 101:918-925.
- Gibala, M.J., J.P. Little, M.J. MacDonald, and J.A. Hawley (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J. Physiol.* 590:1077-1084.
- Gibala, M.J., and A.M. Jones (2013). Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 76:51-60.
- Gibala, M.J., J.B. Gillen, and M.E. Percival (2014). Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. *Sports Med.* 44:S127-137.
- Gross, M., C. Boesch, C.S. Bolliger, B. Norman, T. Gustafsson, H. Hoppeler, and M. Vogt. (2014). Effects of beta-alanine supplementation and interval training on physiological determinants of severe exercise performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 114:221-234.
- Harris, R.C., and T. Stellingwerff (2013). Effect of  $\beta$ -alanine supplementation on high- intensity exercise performance. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 76:61-71.
- Hawley, J.A., L.M. Burke, S.M. Phillips, and L.L. Spriet (2011). Nutritional modulation of training-induced skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 110:834-845.
- Hobson, R.M., B. Saunders, G. Ball, R.C. Harris, and C. Sale (2012). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids.* 43:25-37.
- Laursen, P.B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 20:S1-10.
- Morton, J.P., L. Croft, J.D. Bartlett, D.P. Maclaren, T. Reilly, L. Evans, A. McArdle, and B. Drust (2009). Reduced carbohydrate availability does not modulate training- induced heat shock protein adaptations but does upregulate oxidative enzyme activity in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 106:1513-1521.
- Percival, M.E., M.J. Martin, J.B. Gillen, L.E. Skelly, M.J. MacInnis, A.E. Green, M.A. Tarnopolsky, and M.J. Gibala (2015). Sodium bicarbonate ingestion augments the increase in PGC-1 $\beta$  mRNA expression during recovery from intense interval exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* Sept 17, E-pub, PMID 26384407.
- Philp, A., M. Hargreaves, and K. Baar (2012). More than a store: regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *Am. J. Physiol.* 302:E1343-1351.

- Weston, K.S., U. Wislöff, and J.S. Coombes (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 48:1227-1234.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Gibala, M.J. (2015). High-intensity interval training and the impact of diet. *Sports Science Exchange* 154, Vol. 28, No. 154, 1-5, por Lourdes Mayol, M.Sc.