

Selected Papers from Impact

Efecto de la Ingesta Aguda de Bicarbonato de Sodio sobre el Rendimiento de Sprints Intermitentes y las Respuestas Bioquímicas en Sangre en Velocistas Bien Entrenados

Effect of Acute Sodium Bicarbonate Intake on Sprint-Intermittent Performance and Blood Biochemical Responses in Well-Trained Sprinters

Mohammad Fayiz AbuMoh'd¹, Walid Alsababha¹, Yazan Haddad², Ghaid Obeidat¹ y Yaser Telfah²

¹Yarmouk University, Faculty of Physical Education, Department of Sports/Movement Sciences, Irbid, Jordan

²Yarmouk University, Faculty of Physical Education, Department of Physical Education, Irbid, Jordan

RESUMEN

El presente estudio fue diseñado para determinar el efecto agudo del bicarbonato de sodio (NaHCO₃) sobre el número de repeticiones de sprint durante una prueba intermitente de sprint de alta intensidad. Además, se investigaron las respuestas bioquímicas en la sangre (pH, HCO₃ y lactato) medidas en tres ocasiones. Trece velocistas varones bien entrenados (24.65±3.44 años) realizaron dos pruebas consecutivas (con 7 días de diferencia). Los atletas fueron asignados al azar para ingerir una dosis única de NaHCO₃ (0.3 g/kg) 1 hora antes del ejercicio o placebo utilizando un diseño cruzado doble ciego. La prueba de sprint intermitente consistió en sprints en cinta rodante de 60 seg (90% del trabajo máximo realizado) y 30 seg de recuperación, repetidos intermitentemente hasta el agotamiento volitivo. Se recolectaron muestras de sangre de todos los atletas antes del ejercicio, después de 1 h de la ingesta de la dosis y después del ejercicio en cada prueba. El t-test de muestras apareadas mostró que los atletas completaron significativamente más repeticiones de sprints ($p = 0.036$) durante la prueba de sprint intermitente con NaHCO₃ (6.846±3.114) que con el placebo (5.538±3.872). Los datos tampoco revelaron diferencias entre los ensayos en todas las respuestas sanguíneas antes del ejercicio. Sin embargo, después de 1 h de consumo de la dosis, el pH sanguíneo y el HCO₃⁻ fueron más altos con el NaHCO₃ que con el placebo ($p < 0.05$), pero no se observaron diferencias en el lactato entre las pruebas ($p > 0.05$). Después de completar la prueba, todas las respuestas sanguíneas fueron significativamente más altas con el NaHCO₃ que con el placebo ($p < 0.05$). En conclusión, la ingesta de 0.3 g/kg de NaHCO₃ 1 h antes de la ejecución de sprints intermitentes en cinta rodante aumentó las repeticiones de sprints en velocistas bien entrenados, probablemente debido a una glucólisis activada causada por la salida de protones intracelulares a la sangre.

Palabras Clave: enzimas glicolíticas, pH sanguíneo, capacidad amortiguadora, fuerza contráctil, fatiga

ABSTRACT

The present study was designed to determine the acute effect of sodium bicarbonate (NaHCO₃) on the number of sprint repetitions during sprint high-intensity intermittent testing. In addition, blood biochemical (pH, HCO₃⁻, and lactate) responses measured in three occasions were investigated. Thirteen male well-trained sprinters (24.65±3.44 yrs) performed two consecutive trials (7 days apart). Athletes were assigned randomly either to ingest a single dose of NaHCO₃ (0.3 g/kg) 1 h prior to exercise or placebo using a double-blind crossover design. The intermittent sprint test consisted of 60 s treadmill sprints (90% of maximal work done) and 30-s recovery repeated intermittently until volitional exhaustion. Blood samples were collected from all athletes before exercise, after 1 h of dose intake, and after exercise in each trial. Paired sample t-testing showed that athletes complete significantly more sprint repetitions (p=0.036) during the intermittent sprint test with NaHCO₃ (6.846±3.114) than with the placebo (5.538±3.872). Data also revealed no differences between trials in all blood responses at pre-exercise. After 1 h of dose consumption, however, blood pH and HCO₃⁻ were higher with NaHCO₃ than with placebo (p<0.05), but no differences were noted in lactate between trials (p>0.05). After completion of the test, all blood responses were significantly higher with NaHCO₃ than with placebo (p<0.05). In conclusion, intake of 0.3 g/kg of NaHCO₃ 1 h prior to treadmill sprint-intermittent performance increased sprint repetitions in well-trained sprinters, probably due to activated glycolysis caused by intracellular protons efflux into the blood.

Keywords: glycolytic enzymes, blood pH, buffering capacity, contractile force, fatigue

INTRODUCCIÓN

El ejercicio intermitente de alta intensidad da como resultado una acumulación pronunciada de metabolitos glucolíticos como consecuencia del suministro de energía anaeróbica en los músculos activos (da Silva y cols., 2019; Danaher, Gerber, Wellard y Stathis, 2014; Coso, Hamouti, Agudo- Jiménez y Mora-Rodríguez, 2010; Sweeney, Wright, Brice y Doberstein, 2010). A medida que avanza el ejercicio, la producción de cationes de hidrógeno (H⁺) aumenta (Saunders y cols., 2017) y el pH del músculo disminuye (Hobson, Saunders, Ball, Harris y Sale, 2012), lo que conduce a un desequilibrio ácido-base. El aumento de la acidez de los músculos en funcionamiento causado por la acumulación de H⁺ es una de las principales causas de fatiga (Debold, Fitts, Sundberg y Nosek, 2016; Fitts, 2016; Bishop, Edge, Davis y Goodman, 2004) y puede conducir a deterioros en el rendimiento cuando el ejercicio se realiza a altas intensidades (de Salles Painelli y cols., 2013; Tobias y cols., 2013; Robergs, Hutchinson, Hendee, Madden y Siegler, 2005). Más específicamente, se ha demostrado que la acidosis muscular perjudica la transferencia de energía a través del sistema anaeróbico (da Silva y cols., 2019), interrumpe la resíntesis de fosforilcreatina (PCr) (Sahlin, Harris y Hultman, 1975) e inhibe la actividad de enzimas glucolíticas claves, como la glucógeno fosforilasa y la fosfofructoquinasa (da Silva y cols., 2019). Subsecuentemente, la capacidad de los músculos para hacer frente a las demandas de alta energía disminuye (Gladden, 2004).

Aunque una gran parte del H⁺ inducido por la contracción se transporta rápidamente de los miocitos activos a la sangre y se amortigua con bicarbonato (HCO₃⁻) (de Salles Painelli y cols., 2013; Requena, Zabala, Padial y Feriche, 2005), la acidosis sanguínea también podría contribuir indirectamente a la fatiga durante el ejercicio de alta intensidad (Price, Moss y Prance, 2003; Hobson y cols., 2012). En este contexto, se ha demostrado que los complementos nutricionales atenúan la acidosis y retrasan la fatiga; el bicarbonato de sodio (NaHCO₃) es uno de ellos. El NaHCO₃ es el agente alcalótico más utilizado por los deportistas, que dependen de la glucólisis para retrasar la fatiga (da Silva y cols., 2019; Saunders y cols., 2017) y reducir las calificaciones de esfuerzo percibido (RPE) (Carr, Slater, Gore, Dawson y Burke, 2011). El NaHCO₃ puede aumentar la capacidad de amortiguación extracelular al aumentar la concentración de HCO₃⁻ en sangre (de Salles Painelli y cols., 2013; Oliveira y cols., 2017) en la que mejora el flujo de H⁺ desde los músculos en funcionamiento a la sangre (da Silva y cols., 2019; de Salles Painelli y cols., 2013) donde son neutralizados (Bishop y cols., 2004).

Varias investigaciones han demostrado que el aumento de la capacidad de amortiguación de la circulación, logrado mediante la ingesta aguda (dosis única) o crónica (suplementación) de NaHCO₃, mejora el rendimiento y la capacidad a altas intensidades (Carr y cols., 2011; Requena y cols., 2005; Tobias y cols., 2013; Lancha Junior, de Salles Painelli, Saunders y Artioli, 2015). Esto indica que se ha informado que el NaHCO₃ es beneficioso en eventos con ejercicios de alta intensidad que duran aproximadamente de 1 a 5 minutos (Carr y cols., 2011; Saunders y cols., 2017; Tobias y cols., 2013), con una dosis utilizada que va desde 0.1 a 0.5 g/kg de masa corporal (McNaughton, Backx, Palmer y Strange, 1999). El mecanismo propuesto como razonable para el efecto del NaHCO₃ implica una mayor activación de los sistemas glucolítico y trifosfato de adenosina (ATP)-PCr (Deb, Gough, Sparks y Mc-Naughton, 2018), aunque se ha demostrado una elevación del lactato en sangre después de la ingesta de NaHCO₃ (Artioli y cols., 2007).

Los estudios que utilizan series de sprints de ejercicio de alta intensidad han observado una mejora del rendimiento (Price y cols., 2003; Bishop y cols., 2004; Tobias y cols., 2013; Deb y cols., 2018), pero otros no informaron efectos beneficiosos (de Araujo Dias y cols., 2015; de Salles Painelli y cols., 2013; da Silva y cols., 2019). Además de las discrepancias asociadas con el efecto beneficioso del NaHCO_3 , el ejercicio de alto volumen e intensidad podría inducir alteraciones ácido-base (Carr y cols., 2013). Además, aunque el NaHCO_3 se ha estudiado durante años, la mayoría de las investigaciones se han realizado utilizando pruebas en cicloergómetro. Sin embargo, el efecto de la ingesta de NaHCO_3 sobre las respuestas sanguíneas durante las pruebas repetidas de sprints intermitentes en una cinta rodante sigue siendo poco investigado, y su efecto sobre la capacidad de ejercicio aún no se ha demostrado.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo determinar el número de repeticiones de sprints durante un protocolo de ejercicio hasta el agotamiento volitivo con ejercicios intermitentes de alta intensidad en cinta. Un objetivo secundario de este estudio fue investigar las concentraciones de pH sanguíneo, HCO_3^- y lactato en respuesta al ejercicio. Planteamos la hipótesis de que la capacidad amortiguadora extracelular al ingerir NaHCO_3 agudo podría atenuar la acidez de la sangre y mejorar el rendimiento.

MÉTODOS

Participantes

Trece atletas masculinos de velocidad bien entrenados (ver Tabla 1 para los datos demográficos de los participantes) se ofrecieron como voluntarios para participar en el presente estudio, luego de ser informados sobre el potencial riesgos y beneficios involucrados en la participación. Todos los atletas habían participado en un entrenamiento de velocidad en la Federación Deportiva Militar de Jordania durante un mínimo de cinco años. Otros criterios de inclusión de participación fueron los siguientes: atletas masculinos grandes; la edad osciló entre 20 y 30 años; sin lesiones previas durante al menos cuatro meses, y sin consumir NaHCO_3 ni ninguna ayuda ergogénica siete días antes de la participación. Este estudio fue aprobado previamente por el comité de investigación científica local de la Universidad de Yarmouk (protocolo 11-2019 M.A). Cada participante proporcionó voluntariamente su consentimiento informado por escrito antes de participar.

Tabla 1. Datos demográficos de los participantes.

Variables	Mean \pm SD
Age (years)	24.65 \pm 3.44
Height (cm)	181.55 \pm 4.74
Mass (kg)	79.34 \pm 5.22
BMI (kg/m^2)	24.30 \pm 2.46
resting HR (bpm)	63.67 \pm 3.92
Training volume (min/week)	420.33 \pm 48.61
Training experience (years)	6.23 \pm 1.98
100-m best time (s)	10.43 \pm 0.60

Diseño experimental

Los atletas realizaron dos ensayos experimentales en los que ingirió una dosis única de NaHCO_3 (polvo de bicarbonato de sodio premium, VITADIRECT, EE. UU.) o maltodextrina (placebo). Los ensayos fueron aleatorizados y separados por una semana para completar la recuperación, y ambos ensayos se realizaron a la misma hora del día (07.45 a.m.) para garantizar que los hallazgos no se vieran afectados por el ritmo circadiano. El NaHCO_3 y el placebo se codificaron antes de la recopilación de datos. Las dosis se administraron en un diseño cruzado, con la provisión doble ciego de NaHCO_3 y placebo, ya que ni los examinadores ni los atletas conocían el tratamiento experimental. Cada ensayo consistió en 1)

ingesta de NaHCO_3 o placebo en el laboratorio una hora antes del ejercicio, 2) un calentamiento estandarizado de 10 minutos (trote en cinta rodante con una velocidad de 7-8 km/h, movilidad articular y estiramiento) y 3) prueba de sprint intermitente repetida en una cinta de correr. Se indicó a los atletas que se abstuvieran de beber agua durante la prueba. El protocolo de ejercicio en ambas pruebas se realizó en un ambiente fresco ($20\text{-}22^\circ\text{C}$) y 42-45% de humedad relativa.

Procedimiento experimental

Cada atleta visitó el laboratorio en cuatro ocasiones diferentes. Las características y factores vitales de los atletas se midieron en la primera visita. En la segunda visita, cada atleta realizó un calentamiento para prepararse para correr en una cinta (pantalla táctil LED Technogym Excite + RUN 1000-19", Italia). Participaron en correr tres turnos con diferentes velocidades que iban de baja a moderada (7-13 km/h) durante 10 minutos. Al día siguiente (tercera visita), cada atleta se familiarizó con correr en la cinta durante 15 minutos. Luego de un descanso de 5 min, los atletas se sometieron a una prueba de ejercicio graduada para determinar el $\text{VO}_2\text{máx}$, en la cual la intensidad del ejercicio se incrementaba progresivamente mientras se medía la ventilación y la concentración de oxígeno y dióxido de carbono del aire inhalado y exhalado. El $\text{VO}_2\text{máx}$ se alcanzó cuando el consumo de oxígeno permanece en un estado estable a pesar de un aumento en la carga de trabajo (ver Price y cols., 2003). Este régimen se realizó para medir la mayor velocidad (intensidad) de los atletas asociada con el $\text{VO}_2\text{máx}$ mientras realizaban en cada prueba un sprint de 60 seg. La determinación del $\text{VO}_2\text{máx}$ fue para conocer la eficacia del estado cardiopulmonar e indicar una preparación de la capacidad de los atletas para realizar la prueba de sprint intermitente de manera efectiva. Los resultados del $\text{VO}_2\text{máx}$ de los atletas y la mayor velocidad en la cinta fueron 59.36 ± 3.61 ml/kg/min; 17.05 ± 1.71 km/h, respectivamente.

En la cuarta visita, repetimos el régimen para cada atleta para confirmar la intensidad (velocidad) del ejercicio. El Test-retest no mostró diferencias en el $\text{VO}_2\text{máx}$ ($t = 2.14$, $p = 0.32$) y la velocidad máxima ($t = 0.65$, $p = 0.73$). Luego, se pidió a los atletas que realizaran la prueba de velocidad intermitente a una velocidad del 90% de la velocidad máxima alcanzada (rango: 16.6-17.5 km/h). Las pruebas se midieron durante tres días. A todos los atletas se les indicó que se abstuvieran de hacer ejercicio vigoroso en las 48 horas previas a cada prueba y también que se abstuvieran de tomar café durante 12 horas. Se les pidió que evitaran el desayuno (comer) antes de comenzar una prueba para limitar el efecto nutricional de confusión sobre el rendimiento y asegurar la absorción del NaHCO_3 . Se pidió a cada atleta que bebiera 500 ml de agua 90 minutos antes de cada prueba para evitar una posible deshidratación.

Protocolo de ingesta de NaHCO_3 y placebo

Se indicó a los atletas que ingirieran 0.3 g/kg de NaHCO_3 por vía oral 1 h antes de la prueba experimental. Se administró NaHCO_3 en 400 ml de agua fría (16°C) y se mezcló con 30 ml de sabor a fresa. La dosis seleccionada se utilizó para evitar posibles factores de confusión que pudieran impedir el rendimiento. Una dosis aguda de NaHCO_3 superior a 0.5 g/kg de masa corporal puede provocar dolor abdominal, flatulencia, náuseas, vómitos y diarrea (Lancha Junior y cols., 2015). Además, se solicitó a todos los atletas que ingirieran el suplemento dentro de los 10 minutos para una absorción óptima (Deb y cols., 2018). En la prueba con placebo, se pidió a los atletas que completaran el mismo pedido, pero con maltodextrina. Los suplementos se ingirieron utilizando botellas indistinguibles para que los participantes no supieran qué bebida habían ingerido.

Prueba de velocidad intermitente

La prueba de sprint intermitente consistió en series de sprints repetidos de 60 segundos hasta el agotamiento voluntario (fallo de la tarea). Los períodos de descanso eran de 30 segundos entre los turnos. Se mantuvo una velocidad de 16.6-17.5 km/h (el rango de velocidad máxima de los atletas) en la cinta durante los turnos, en los que se alentó a los atletas a completar con éxito la mayor cantidad posible de repeticiones. El fallo de la tarea se define como la incapacidad de mantener la velocidad dentro de los 10 segundos de la cadencia preferida.

Recolección y análisis de las muestras de sangre.

Las muestras de sangre se recolectaron de cada participante en ambas pruebas para medir el pH sanguíneo, el HCO_3^- y el lactato en tres ocasiones: antes del ejercicio, después de la ingesta de dosis de 1 hora y después del ejercicio. Se utilizó venopunción para obtener muestras de sangre (4 ml). El pH sanguíneo y el HCO_3^- se analizaron con un radiómetro ABL800 (Dinamarca). La concentración de lactato en sangre se analizó utilizando un dispositivo Integral 400 (Suiza). Los rangos de referencia de las variables fueron los siguientes: 0.63-2.44 mmol/L para lactato, 22.0-29.0 mmol/L para HCO_3^- . El pH sanguíneo normal está estrechamente regulado entre 7.35 y 7.45.

Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal. Todas las variables (pH sanguíneo, HCO_3^- y lactato) en los tres puntos de tiempo se distribuyeron normalmente ($p > 0.05$). Se utilizó un análisis de varianza de medidas

repetidas (ANOVA) con una corrección de Greenhouse-Geisser para determinar las posibles diferencias en las respuestas sanguíneas en los tres puntos de tiempo dentro de una prueba. Cuando se logró una tasa F significativa, se utilizó una prueba *post hoc* con la corrección de Bonferroni para la comparación por pares utilizando medias ajustadas. Se utilizó un *t*-test de muestras apareadas para analizar las diferencias en el número de repeticiones de sprint entre pruebas y para analizar las diferencias en cada punto medido entre las pruebas. Las inferencias frecuentes se evaluaron frente a la diferencia de las medias \pm IC del intervalo de confianza del 95% entre las pruebas en los que las varianzas no cruzan el límite cero interpretadas como significativas. Todos los datos descriptivos se expresan como media \pm SD. La significancia se estableció en $P < 0.05$ para todos los análisis. El análisis estadístico se realizó utilizando SPSS versión 18.0 y Microsoft Excel.

Resultados

Los datos revelaron que el número de repeticiones de sprints durante la prueba de sprint intermitente fue significativamente mayor con NaHCO_3 (6.846 ± 3.114) que con el placebo (5.538 ± 3.872) ($t = 4.113$, $p = 0.036$). La Tabla 2 ilustra los resultados de las respuestas bioquímicas en sangre al NaHCO_3 en tres momentos: 1) antes del ejercicio, 2) 1 h después de la ingesta de la dosis y 3) después del ejercicio. Los datos analizados mostraron diferencias estadísticas en todas las respuestas sanguíneas. El uso *post hoc* de Bonferroni con medias ajustadas reveló que tanto el pH sanguíneo como el HCO_3^- fueron significativamente más altos después de 1 h de la ingesta de NaHCO_3 en comparación con pre-ejercicio ($F = 4.201$, $p = 0.027$; $F = 3.817$, $p = 0.030$ para pH y HCO_3^- , respectivamente) y post-ejercicio ($F = 3.522$, $p = 0.034$; $F = 2.961$, $p = 0.041$ para pH y HCO_3^- , respectivamente), mientras que el nivel de lactato en sangre se elevó después del final de la prueba en comparación con el nivel de pre-ejercicio ($F = 6.012$, $p = 0.003$) y 1 h después de la dosis ($F = 8.976$, $p = 0.001$), sin diferencias entre pre-ejercicio y 1 h post-dosis ($F = 0.351$, $p = 0.468$).

Tabla 2. Resultados de las respuestas bioquímicas en la sangre al NaHCO_3 al inicio (antes del ejercicio), 1 h después de la ingesta y después del ejercicio en 13 velocistas bien entrenados. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía.

Parameters	Pre-exercise	1-h post dose	Post-exercise
pH	7.42 ± 0.03	7.47 ± 0.02^a	7.37 ± 0.05^{ab}
HCO_3^- (mmol/L)	25.81 ± 2.44	30.63 ± 4.01^a	17.28 ± 4.16^{ab}
Lactate (mmol/L)	1.95 ± 1.88	2.21 ± 0.24	13.11 ± 3.09^{ab}

Note. Significance level was set at $p < 0.05$; Values expressed as mean \pm SD; ^a Significantly different than pre-exercise; ^b Significantly different than 1 h post-dose.

La Tabla 3 ilustra los resultados de las respuestas bioquímicas en la sangre al placebo en los mismos tres puntos de tiempo. Los datos mostraron diferencias en todas las respuestas sanguíneas. El uso *post hoc* de Bonferroni con medias ajustadas reveló que tanto el pH sanguíneo como el HCO_3^- fueron más altos después de 1 h de la ingesta de placebo en comparación con pre-ejercicio ($F = 5.101$, $p = 0.021$; $F = 4.748$, $p = 0.019$ para pH y HCO_3^- , respectivamente) y post-ejercicio ($F = 2.676$, $p = 0.044$; $F = 2.11$, $p = 0.048$ para pH y HCO_3^- , respectivamente), sin diferencias entre pre-ejercicio y 1 h post dosis ($F = 0.589$, $p = 0.337$; $F = 0.343$, $p = 0.401$). Después de la finalización de la prueba, el nivel de lactato en sangre se incrementó sobre el nivel posterior al ejercicio que antes del ejercicio ($F = 5.396$, $p = 0.004$) y 1 h después de la dosis ($F = 5.091$, $p = 0.003$), sin diferencias entre pre-ejercicio y 1 h post-dosis ($F = 0.286$, $p = 0.573$).

La Tabla 4 ilustra los resultados de las respuestas bioquímicas sanguíneas entre NaHCO_3 y placebo en los mismos tres puntos de tiempo. No hubo diferencias significativas entre las pruebas en todas las respuestas sanguíneas antes del ejercicio. Después de 1 h del consumo de la dosis, el pH sanguíneo y el HCO_3^- fueron más altos con el NaHCO_3 que con el placebo, pero no se observaron diferencias en el lactato entre las pruebas. Sin embargo, una vez finalizada la prueba, todas las variables fueron significativamente más altas con el NaHCO_3 que con el placebo.

Tabla 3. Resultados de las respuestas bioquímicas sanguíneas al placebo al inicio (antes del ejercicio), 1 h después de la ingesta y después del ejercicio en 13 velocistas bien entrenados. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía.

Parameters	Pre-exercise	1-h post dose	Post-exercise
pH	7.43 ± 0.02	7.43 ± 0.02	7.29 ± 0.04 ^{ab}
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	25.74 ± 2.74	25.59 ± 3.22	14.56 ± 4.38 ^{ab}
Lactate (mmol/L)	2.07 ± 2.33	2.27 ± 0.44	10.46 ± 4.17 ^{ab}

Note. Significance level was set at $p < 0.05$; Values expressed as mean ± SD; ^a Significantly different than pre-exercise, ^b Significantly different than 1 h post-dose.

Tabla 4. Resultados de las respuestas bioquímicas sanguíneas al NaHCO₃ y al placebo al inicio (antes del ejercicio), 1 h después de la ingesta y después del ejercicio en 13 velocistas bien entrenados. Los datos se analizaron mediante el t-test de muestras apareadas.

Parameters	Pre-exercise			1-h post dose			Post-exercise		
	NaHCO ₃	Placebo	p value	NaHCO ₃	Placebo	p value	NaHCO ₃	Placebo	p value
pH	7.42 ± 0.03	7.43 ± 0.02	0.101	7.47 ± 0.02	7.43 ± 0.02	0.001*	7.37 ± 0.05	7.29 ± 0.04	0.001*
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	25.81 ± 2.44	25.74 ± 2.74	0.531	30.63 ± 4.01	25.59 ± 3.22	0.002*	17.28 ± 4.16	14.56 ± 4.38	0.021*
Lactate (mmol/L)	1.95 ± 1.88	2.07 ± 2.33	0.281	2.21 ± 0.24	2.27 ± 0.44	0.347	13.11 ± 3.09	10.46 ± 4.17	0.043*

Note. Significance level was set at $p < 0.05$; Values expressed as mean ± SD; * Significantly different from placebo.

Discusión

El hallazgo principal del presente estudio fue que la ingesta de NaHCO₃ fue una estrategia eficaz para completar significativamente más repeticiones de sprint en comparación con la ingesta del placebo. Este resultado podría explicarse por la excesiva concentración sanguínea de HCO₃⁻ debido al NaHCO₃ consumido antes del inicio de la prueba, en el que se potencia la salida de H⁺ intracelular. Se ha documentado que la administración de NaHCO₃ puede atenuar aproximadamente el 62% del H⁺ que se difunde de las células musculares activas a la sangre durante el ejercicio muy intensivo (Carr, Webstar, Boyed, Hudson y Scheett, 2013; Medbo y Tabata, 1993). Además, el NaHCO₃ también puede contribuir a retrasar la aparición de la fatiga manteniendo la capacidad de producción de energía (Carr y cols., 2013; Requena y cols., 2005) y/o disminuyendo el RPE (Tobias y cols., 2013). Otra explicación por la cual la ingesta de NaHCO₃ aumentó el número de repeticiones de sprint durante la prueba es que el NaHCO₃ podría activar la actomiosina ATPasa (Carr y cols., 2013) y provocar una liberación de calcio del retículo sarcoplásmico (Requena y cols., 2005), potenciando el sistema de acoplamiento actomiosínico y, por lo tanto, aumenta la capacidad muscular.

El resultado de nuestro estudio coincidió con el hallazgo de Deb y cols. (2018), quienes demostraron que la tolerancia al ejercicio durante una prueba de esfuerzo intermitente (trabajo de 60 seg en alta intensidad hasta el agotamiento, separados por intervalo de recuperación de 30 seg) fue significativamente mayor después de 0.3 g/kg de masa corporal de NaHCO₃ (845.3 ± 242.4 seg) en comparación con la prueba con placebo (734.3 ± 175.7 seg). Sin embargo, su protocolo se llevó a cabo en un cicloergómetro y los participantes eran varones recreativamente activos. Otro estudio realizado por Price y cols. (2003) también demostraron que la ingesta de 0.3 g/kg de NaHCO₃ 1 h antes del ejercicio aumentó la potencia máxima (11.5 ± 5%) expresada en relación con una prueba de evaluación de velocidad en comparación con el cloruro de sodio (NaCl, 1.8 ± 9.5%). En el mismo estudio, los participantes no eran deportistas y completaron una prueba de cicloergómetro incremental que consistió en dos intervalos de 30 min (bloques repetidos de 3 min; 90 seg al 40% VO₂máx, 60 seg al 60% VO₂máx, 14 seg de sprint máximo, 16 seg de descanso). Tobias y cols. (2013) informaron un mejor rendimiento intermitente de alta intensidad de la parte superior del cuerpo (4 x 30 seg de test Wingate, separados por 3 min) después de la suplementación crónica de beta-alanina (BA) (6.4 g/día durante 4 semanas) combinada con 500 mg/kg de NaHCO₃ ingerido en siete días en comparación con un placebo en atletas bien entrenados. El trabajo total realizado en ese estudio se incrementó en un 8% en el modo de suplementación con NaHCO₃, que difería de nuestro protocolo. Sin

embargo, se ha sugerido que el NaHCO_3 crónico puede provocar una capacidad muscular de manera similar con una ingesta aguda (Artioli y cols., 2007).

Nuestros hallazgos fueron contrarios a estudios posteriores. Recientemente, da Silva y cols. (2019) mostraron que una combinación de suplementación con BA (6.4 g/día durante 28 días) y NaHCO_3 agudo (0.3 g/kg) 60 min antes de una prueba contrarreloj de ciclismo (turnos de 60 seg al 110% de la producción de potencia máxima, separados por 60 seg de reposo) no mejoraba el rendimiento en comparación con cada uno solo y con placebo en ciclistas masculinos. Sin embargo, sugirieron que el NaHCO_3 aumentaba los sistemas glucolíticos ATP-PCr estimados. de Salles Painelli y cols. (2013) informaron que la ingesta de 0.3 g/kg de NaHCO_3 después de la suplementación con BA (3.2-6.4 g/día durante 4 semanas) no tuvo ningún efecto ergogénico en el rendimiento de natación de 100 y 200 m en nadadores. Una limitación de ese estudio fue la falta de medición de HCO_3^- en sangre, por lo que no sugirieron una explicación para la mejora no significativa del rendimiento. de Araujo Dias y cols. (2015) observaron que la ingesta de 0.3 g/kg de NaHCO_3 no afectó la prueba de capacidad de ciclismo de alta intensidad graduada que se iniciaba a 100 W y aumentaba en 6 W cada 15 seg hasta el agotamiento volitivo en comparación con el placebo. La explicación de su hallazgo se atribuyó a una variabilidad de la actividad de la proteína transportadora de monocarboxilato (MCT) después de la ingesta del NaHCO_3 y a la relación de salida de H^+ desde los miocitos a la sangre. Sin embargo, los participantes reclutados en ese estudio eran personas recreativamente activas. Además, se han observado hallazgos contradictorios cuando la duración de un ejercicio que dura menos de 2 min (Requena y cols., 2005). Danaher y cols. (2014) no mostraron diferencias en la prueba de capacidad de sprint repetido (RSA) (5 repeticiones de ciclismo de esfuerzo máximo de 6 seg, separadas por 24 seg de descanso) entre pruebas con el NaHCO_3 (300 mg/kg), la BA (4.8-6.4 g/día durante 4 semanas) y con placebo. Sin embargo, el tiempo hasta el agotamiento durante la prueba de capacidad de ciclismo realizada después de un RSA aumentó un 16% con una combinación de NaHCO_3 + BA. La falta de efecto ergogénico de la ingesta de NaHCO_3 sobre el rendimiento en estudios previos podría estar asociada con el tipo de protocolo de ejercicio, la duración del ejercicio, el pequeño número de la muestra, la intensidad del ejercicio y las temperaturas ambientales.

Nuestros resultados mostraron que el pH sanguíneo y el HCO_3^- fueron significativamente más altos después de la finalización del test en la prueba con NaHCO_3 que en la prueba con placebo, lo que podría indicar una capacidad amortiguadora efectiva de la mediana extracelular debido a la ingesta de NaHCO_3 . El aumento del pH extracelular y el aumento del HCO_3^- debido al consumo de NaHCO_3 podrían aumentar la salida de H^+ y lactato desde los músculos activos (Requena y cols., 2005) al aumentar la actividad del cotransportador de lactato/ H^+ . Este mecanismo retrasa la caída del pH (Marx y cols., 2002), retrasa la aparición de la fatiga (Hobson, y cols., 2013) y conduce a una mayor fuerza contráctil (McNaughton y cols., 1999) por la producción de ATP glucolítico muscular sostenido (McKenzie, Coutts, Stirling, Hoeben y Kubara, 1986; Kemp y Foe, 1983). En este contexto, sin embargo, el aumento de la activación de los sistemas de ATP-PCr glucolíticos induce altos niveles de lactato (da Silva y cols., 2019). Se ha informado un aumento del lactato después del ejercicio después de la ingesta de NaHCO_3 (da Silva y cols., 2019; Bishop y cols., 2004), lo que podría explicar el aumento del lactato en sangre después de finalizar el test en la prueba con NaHCO_3 en comparación con el placebo en el estudio presente. Además, las mayores repeticiones de sprints como resultado del consumo de NaHCO_3 también contribuyeron a la elevación de los niveles de lactato en sangre. En un estudio realizado por Deb y cols. (2018), el HCO_3^- en sangre fue significativamente más alto en un ensayo experimental después de pruebas intermitentes (16.0 ± 2.0 mmol/L) en comparación con 13.0 ± 3.0 mmol/L en una prueba con placebo, y el pH de la sangre disminuyó de 7.47 (pre-prueba) a 7.31 (pot-prueba) en el test con NaHCO_3 en comparación con el placebo (7.39; 7.20, respectivamente). Sin embargo, en el mismo estudio, el lactato en sangre después de la prueba fue significativamente elevado en la prueba con NaHCO_3 (17.9 ± 5.9 mmol/L) en comparación con un placebo (13.9 ± 4.3 mmol/L). da Silva y cols. (2019) encontraron que el lactato en sangre (15.7 mmol/L), el pH (7.30) y el HCO_3^- (22.1 mmol/L) se modificaron significativamente después del ejercicio en comparación con el placebo (12.0 mmol/L; 7.25; 19.5 mmol/l, respectivamente). Hobson y cols. (2013) mostraron que la BA crónica (6.4 g/día durante 4 semanas) seguida de NaHCO_3 agudo (0.2 g/kg) probablemente sería beneficiosa para el rendimiento de remo en 2.000 m, con un aumento del pH sanguíneo, HCO_3^- y lactato después del ejercicio, en comparación con el grupo placebo en remeros.

Conclusión

Se puede concluir a partir de los datos actuales que el bicarbonato de sodio agudo (dosis única) puede atenuar la acidosis durante el ejercicio intermitente de alta intensidad y mejorar el rendimiento después de la ingesta de 0.3 g/kg por vía oral en velocistas bien entrenados, lo que indica que el bicarbonato de sodio puede actuar como un tampón fisicoquímico en el cuerpo y puede representar, en parte, una explicación del efecto ergogénico en el ejercicio intermitente de velocidad. Además, estos datos confirman que el lactato en sangre después del ejercicio aumenta después del consumo de bicarbonato de sodio.

Agradecimientos

Estamos en deuda con la nutricionista N. Asi por los suplementos utilizados en este estudio, así como con los entrenadores que asistieron como examinadores. También agradecemos a R. Dbaei por consultas de análisis estadístico y a los atletas por ofrecer voluntariamente su esfuerzo y tiempo.

REFERENCIAS

1. Artioli, G.G., Gualano, B., Coelho, D.F., Benatti, F.B., Gailey, A.W., & Lancha Jr, A.H. (2007). Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, 206-217.
2. Bishop, D., Edge, J., Davis, C., & Goodman, C. (2004). Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated sprint ability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 807-813.
3. Carr, A.J., Slater, G.J., Gore, C.J., Dawson, B., & Burke, L.M. (2011). Effect of sodium bicarbonate on [HCO₃-], pH, and gastrointestinal symptoms. *International Journal of Nutrition and Exercise Metabolism*, 21, 189-194.
4. Carr, B.M., Webstar, M.J., Boyed, J.C., Hudson, G.M., & Scheett, T.P. (2013). Sodium bicarbonate supplementation improves hypertrophy-type resistance exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 743-752.
5. Coso, J.D., Hamouti, N., Agudo-Jimenez, R., & Mora-Rodriguez, R. (2010). Restoration of blood pH between repeated bouts of high-intensity exercise: effects of various active-recovery protocols. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 523-532.
6. da Silva, R.P., de Oliveira, L.F., Saunders, B., de Andrade Kratz, C., de Salles Painelli, V., da Eira Silva, V., Marins, J.C.B., Franchini, E., Gualano, B., & Artioli, G.G. (2019). Effects of β-alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-intensity intermittent exercise. *Amino Acids*, 51, 83-96.
7. Danaher, J., Gerber, T., Wellard, B.M., & Stathis, C.G. (2014). The effect of β-alanine and NaHCO₃ co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with highintensity exercise in healthy males. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 1715-1724.
8. de Araujo Dias, G.F., da Eira Silva, V., de Salles Painelli, V., Sale, C., Artioli, G.G., Gualano, B., & Saunders, B. (2015). (In) Consistencies in responses to sodium bicarbonate supplementation: a randomised, repeated measures, counterbalanced and double-blind study. *PLoS ONE*, 10(11), 1-13.
9. de Salles Painelli, V., Roschel, H., de Jesus, F., Sale, C., Harris, R.C., Solis, M.Y., Benatti, F.B., Gualano, B., Lancha Jr, A.H., & Artioli, G.G. (2013). The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 38, 525-532.
10. Deb, S.K., Gough, L.A., Sparks, S.A., & McNaughton, L.R. (2018). Sodium bicarbonate supplementation improves severe-intensity intermittent exercise under moderate acute hypoxia conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 118, 607-615.
11. Debold, E.P., Fitts, R.H., Sundberg, C.W., & Nosek, T.M. (2016). Muscle fatigue from the perspective of a single crossbridge. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11, 2270-2280.
12. Fitts, R.H. (2016). The role of acidosis in fatigue: properspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11, 2335-2338.
13. Gladden, L.B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, 558, 5-30.
14. Hobson, R.M., Harris, R.C., Martin, D., Smith, P., Macklin, B., Gualano, B., & Sale, C. (2013). Effect of β-alanine with and without sodium bicarbonate on 2. 000-m rowing performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23, 480-487.
15. Hobson, R.M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R.C., & Sale, C. (2012). Effects of β-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*, 43, 25-37.
16. Kemp, R.J., & Foe, L.G. (1983). Allosteric regulatory properties of muscle phosphofructokinase. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 57, 147-154.
17. Lancha Junior, A.H., de Salles Painelli, V., Saunders, B., & Artioli, G.G. (2015). Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise. *Sports Medicine*, 45(Suppl 1), S71-S81.
18. Marx, J.O., Gordon, S.E., Vos, N.K., Nindl, B.C., Gomez, A.L., Volekk, J.S., Pedro, J., Ratamess, N., Newton, R.U., French, D.N., Rubin, M.R., Hakkinen, K., & Kraemer, W.J. (2002). Effect of alkalosis on plasma epinephrine responses to high intensity cycle exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 72-77.
19. McKenzie, D.C., Coutts, K.D., Stirling, D.R., Hoeben, H.H., & Kubara, G. (1986). Maximal work production following two levels of artificially induced metabolic alkalosis. *Journal of Sports Sciences*, 4, 35-38.
20. 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*, 80, 333-336.
21. Medbo, J.I., & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1654-1660.
22. Oliveira, L.F., de Salles Painelli, V., Nemezio, K., Goncalves, L.S., Yamaguchi, G., Saunders, B., Gualano, B., & Artioli, G.G. (2017). Chronic lactate supplementation does not improve blood buffering capacity and repeated high-intensity exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27, 1231-1239.
23. Price, M., Moss, P., & Prance, S. (2003). Effects of sodium bicarbonate ingestion on prolonged intermittent exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1303-1308.
24. Requena, B., Zabala, M., Padial, P., & Feriche, B. (2005). Sodium bicarbonate and sodium citrate: ergogenic aids?. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 213-224.
25. Robergs, R., Hutchinson, K., Hendee, S., Madden, S., & Siegler, J. (2005). Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the kinetics of acid-base recovery following intense exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise*

Metabolism, 15, 59-74.

26. Sahlin, K., Harris, R.C., & Hultman, E. (1975). Creatine kinase equilibrium and lactate content compared with muscle pH in tissue samples obtained after isometric exercise. *Biochemical Journal*, 152, 173-180.
27. Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G.G., Swinton, P.A., Dolan, E., Roschel, H., Sale, C., & Gualano, B. (2017). β -Alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systemic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 658-669.
28. Sweeney, K.M., Wright, G.A., Brice, A.G., & Doberstein, S.T. (2010). The effect of β -alanine supplementation on power performance during repeated sprint activity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 79-87.
29. Tobias, G., Benatti, F.B., de Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., Harris, R.C., Lancha Jr, A.H., & Artioli, G.G. (2013). Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45, 309-317.

Cita Original

AbuMoh'd, M. F., Alsababha, W., Haddad, Y., Obeidat, G., Telfah, Y. (2021). Effect of acute sodium bicarbonate intake on sprint-intermittent performance and blood biochemical responses in well-trained sprinters. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 10(1), 5-10. doi: 10.26773/mjssm.210301