

Article

Efectos de la Carga con NaHCO₃ y NaCl sobre el Hematocrito y el Rendimiento en Ciclismo de Alta Intensidad

RESUMEN

Los resultados inconsistentes de los beneficios de la carga con bicarbonato de sodio (NaHCO₃) sobre el rendimiento físico pueden estar relacionados con el uso de cloruro de sodio (NaCl) como sustancia placebo. Se ha postulado que el contenido de sodio de ambas sustancias puede producir beneficios en el rendimiento. El propósito de este estudio fue comparar el NaHCO₃ y el NaCl con un placebo físicamente inerte, a través de la evaluación del efecto que produce una carga aguda sobre el rendimiento de ciclismo de alta intensidad. Ocho ciclistas altamente entrenados (edad = 24 ± 7 años; peso = 77 ± 9 kg; $VO_{2max} = 59,8 \pm 8,6$ mL kg⁻¹ min⁻¹) realizaron un test de rendimiento de 2 min en una bicicleta ergométrica, luego de haber consumido una carga de NaHCO₃ (SB), de NaCl (SC) o de un placebo (D) siguiendo un diseño aleatorizado y en doble ciego. Se tomaron muestras de sangre antes (pre) y después de consumir la carga (post), y antes y después del test de rendimiento para analizar los niveles del hematocrito. El tratamiento con SB produjo valores de potencia media (watts) significativamente superiores ($P < 0,05$) en el test de 2 min ($514,9 \pm 49,7$) en comparación con los tratamientos SC y D ($504,3 \pm 51,0$ y $498,7 \pm 50,6$, respectivamente), y no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos SC y D ($P > 0,05$). No se observaron diferencias significativas en los niveles del hematocrito entre los 3 tratamientos en ningún punto ($P > 0,05$). Estos resultados indican que la carga con NaHCO₃ produce una mejora significativa en el rendimiento en comparación con NaCl y una sustancia placebo.

Palabras Clave: Bicarbonato de sodio, volumen de plasma, buffer, alcalosis

INTRODUCCION

El bicarbonato de sodio (NaHCO₃) se ha transformado en una ayuda ergogénica popular, que es consumida por atletas involucrados principalmente en deportes de corta duración y alta intensidad (6, 7, 21, 34). En la actualidad existen algunos resultados inconsistentes con respecto al efecto de la carga con NaHCO₃ sobre el rendimiento deportivo e incertidumbre acerca de los mecanismos fisiológicos por los cuales se supone que produce un beneficio ergogénico (6, 21, 24, 30).

El elevado consumo del ATP del músculo esquelético durante el ejercicio de alta intensidad está asociado con una mayor producción de iones hidrógeno (H⁺) y a su vez, con una reducción en el pH mioplásmico (12). Se piensa que la acidosis muscular provocada por el aumento en la concentración de H⁺ impide los procesos contráctiles y la producción de fuerza del músculo (9, 29). Las investigaciones han demostrado que la salida de H⁺ de la célula muscular es inhibida por la

acidosis extracelular (16) y aumenta en los casos en que hay un aumento en la capacidad buffer extracelular (22). Se piensa que la carga con NaHCO_3 mejora los mecanismos de amortiguación (*buffering*) propios/internos para prevenir la acidosis metabólica, ayudando a mantener un nivel de pH óptimo durante el ejercicio y, por consiguiente, reforzando la función y el rendimiento muscular (24). Aunque la teoría propuesta acerca de cómo funciona la carga con NaHCO_3 parece lógica, el mecanismo exacto por el cual se supone que el NaHCO_3 mejora el rendimiento deportivo es difícil de investigar. Los estudios que han informado propiedades ergogénicas del NaHCO_3 atribuyeron directamente estos efectos a la ingesta de bicarbonato (HCO_3^-), prestando poca atención al contenido de sodio (Na^+). Sin embargo, Kozak-Collins et al. (19) sugirieron que una posible explicación para aquellos estudios que no observaron mejoras en el rendimiento después de la carga con NaHCO_3 en comparación con un placebo, podría ser que el propio placebo proporcionaba alguna mejora en el rendimiento. Más específicamente, Kozak-Collins et al. (1994) plantearon que, si se agrupaban en función de la sustancia control, los estudios que utilizaban carbonato del calcio o una cantidad pequeña de cloruro de sodio (NaCl) observaban una mejora en el rendimiento luego de la ingesta de NaHCO_3 mientras que aquellos estudios que empleaban un placebo que contenía un contenido más alto de Na^+ no arrojaban conclusiones claras (19).

Muchos estudios anteriores han usado NaCl como sustancia placebo o control para equiparar el contenido de Na^+ en NaHCO_3 , pero muy pocos han considerado los efectos potenciales de aportar Na^+ y incorporar un grupo control alternativo (1, 19, 28). Se piensa que la ingesta de Na^+ produce cambios en el volumen intravascular (19,31), y como consecuencia, mejora el rendimiento físico (31, 32). Mitchell et al. (28) observaron que la infusión intravenosa de NaHCO_3 y NaCl mejoró significativamente la resistencia en ciclismo, en un test hasta el agotamiento de 30 min en comparación con un grupo control (ninguna infusión), a pesar del hecho que solo el NaHCO_3 evitó la acidosis durante el ejercicio. Los autores concluyeron que este resultado probablemente se debía a un aumento en el volumen intravascular por la infusión de Na^+ , lo que provocaría una mejor perfusión en el músculo esquelético que realizaba el ejercicio. Hinchcliff et al. (15) informaron que la administración por vía oral de NaHCO_3 y NaCl aumentó la velocidad máxima y el tiempo de rendimiento de equinos en una carrera progresiva en cinta rodante, a pesar del hecho que el pH sanguíneo fue significativamente más ácido en el tratamiento con NaCl . De manera similar Kozak-Collins et al. (19) no observaron ninguna diferencia significativa entre dosis orales iguales de NaHCO_3 y NaCl en el número de series completadas durante una ergometría de piernas exhaustiva, a pesar de los cambios ácido-base durante el protocolo. Estos resultados sugieren que el NaCl podría no ser una sustancia fisiológica adecuada para ser utilizada como placebo, debido posiblemente a la concentración de Na^+ . Sin embargo, la falta de un tratamiento control con otra sustancia dificulta la interpretación de estos resultados.

Según nuestros conocimientos, no hay ningún estudio en la bibliografía que haya comparado la ingesta oral de NaHCO_3 y NaCl con una sustancia placebo fisiológicamente inerte en atletas altamente entrenados. De hecho, Mitchell et al. (28) usó una infusión intravenosa de estas sustancias en sujetos entrenados recreacionalmente; sin embargo, ésta no es una metodología común o práctica, y en la actualidad está prohibida en el ámbito deportivo donde frecuentemente se utiliza la carga con NaHCO_3 . Por consiguiente, el objetivo del estudio actual fue investigar el efecto de NaHCO_3 y NaCl (equiparados en cuanto al contenido de Na^+) en comparación con un placebo fisiológicamente inerte sobre el rendimiento de ciclismo de corta duración, alta intensidad en atletas altamente entrenados.

MÉTODOS

Sujetos

En este estudio participaron voluntariamente ocho ciclistas de sexo masculino altamente entrenados (Media \pm SD; edad = 24 ± 7 años; talla = 181 ± 9 centímetros; peso = 77 ± 9 kg; $\text{VO}_2\text{máx} = 59,8 \pm 8,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Los ciclistas fueron informados de los riesgos asociados con el protocolo y firmaron un formulario de consentimiento informado antes de realizar los tests. El estudio fue aceptado por el Comité de Ética Institucional de Investigación con Seres Humanos y cumplió con lo establecido en la Declaración de Helsinki.

Diseño

Este estudio fue realizado con un diseño cruzado aleatorizado en doble ciego. Todos los sujetos realizaron cuatro tratamientos; el primero fue un tratamiento de familiarización. A continuación, 3 días después de la sesión de familiarización, los sujetos realizaron 3 tratamientos experimentales. Cada prueba estaba separada por 48 hs de la siguiente y consistía en una prueba de rendimiento de 2 min y en la extracción de una muestra de sangre para determinar el valor del hematocrito. Los tratamientos experimentales fueron precedidos en orden aleatorizado por una carga aguda de NaHCO_3 (SB), NaCl (SC) o una carga con placebo (dextrosa monohidratada) (D). El tiempo entre las pruebas (48 hrs) se utilizó para permitir un adecuado período de lavado (*washout*) para los suplementos ingeridos (27).

Metodología

Se solicitó a los sujetos que arribaran cada una de las sesiones de evaluación descansados, hidratados y en ayunas (4 hrs) y se les solicitó que evitaran realizar ejercicio activo el día de cada sesión de evaluación. También se les pidió que llevaran un registro dietario de 24 hr y un diario de entrenamiento que comenzara en la primera sesión de evaluación; y que repitieran la misma dieta y entrenamiento en cada una de las sesiones de evaluación subsiguientes. Los sujetos debían evitar consumir cafeína las 12 horas previas a cada sesión de prueba. A lo largo del estudio, los test de rendimiento se realizaron siempre en la misma bicicleta ergométrica en el mismo momento del día (± 1 hr) para minimizar la variación biológica.

Todos los suplementos fueron administrados en un número igual de cápsulas de gelatina para que los sujetos y los investigadores desconocieran que tratamiento estaban recibiendo, y para minimizar el riesgo de rechazo gastrointestinal del NaHCO_3 (8). En el tratamiento SB, los sujetos ingirieron una dosis de $0,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de masa corporal de NaHCO_3 . En el tratamiento con SC los sujetos consumieron una dosis de $0,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de masa corporal de NaCl (con igual cantidad de moles de sodio que SB). En el tratamiento D los participantes consumieron el mismo número de cápsulas. La dextrosa monohidratada ($0,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) se utilizó como sustancia relativamente inerte fisiológicamente, por lo que no es esperable que influya en el rendimiento físico, sobre todo en una dosis tan baja. Los métodos de carga agudos usados en el presente estudio han demostrado que son la manera más eficaz de alcanzar un equilibrio ácido-base óptimo antes del ejercicio de alta intensidad (13, 2) sin efectos secundarios asociados (6, 8).

En cada condición, se solicitó a los sujetos que comenzaran ingiriendo las cápsulas 120 min antes del momento de realizar el test (consumidas en 5 dosis a lo largo de un período de 60 min). Se realizó control del consumo de fluidos y los sujetos consumieron un total de $10 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ de agua durante cada período de carga. Una vez terminado el período de carga los sujetos no pudieron consumir fluido adicional. Luego de la carga aguda, se solicitó a los sujetos que descansaran durante 45 min y luego realizaron una entrada en calor estandarizada que se repitió antes de cada prueba. La entrada en calor consistió en realizar 3 series de intensidades relativas a la masa corporal del sujeto ($2,0, 2,5, 3,0 \text{ watts}\cdot\text{kg}^{-1}$) de 3 min de duración cada una, antes de realizar 5 esprints máximos de 3 seg, separados por 10 seg hasta completar la entrada en calor. Luego los sujetos tuvieron 1 min de descanso pasivo antes de comenzar la tarea de ejercicio. La prueba de ciclismo de 2 min (EX) se realizó en una bicicleta ergométrica con freno a aire (*Repeco Cycle Company, Canberra*). La bicicleta ergométrica se conectó a un Sistema de Evaluación de Potencia hecho a pedido (*PESS Versión 2,0, UTAS, Launceston, Australia*) que permitió medir la potencia máxima y media (watts). Antes del estudio, la bicicleta ergométrica fue calibrada de manera dinámica siguiendo un protocolo descrito en otros estudios (25).

Durante el EX, las variables metabólicas cardiorrespiratorias fueron medidas utilizando un sistema de boquillas bidireccional sin reinhalación (Hans Rudolf, Kansas, EE.UU.) conectado a un analizador metabólico *Parvo Medics TrueOne 2400* (*Parvo Medics, Inc., Salt Lake City, UT*). El analizador se calibró antes de cada test con gases alfa de concentración conocida, siguiendo las instrucciones del fabricante. El $\text{VO}_{2\text{máx}}$ se tomó como el valor más alto de VO_2 en 15 seg. registrado durante el EX.

Las muestras de sangre capilar se extrajeron de la yema de los dedos y en todas las pruebas fueron obtenidas en 4 ocasiones: pre-carga (0 min), post-carga (60 min), pre-EX (120 min) y post-EX (125 min). Los valores del hematocrito Pre-EX fueron obtenidos inmediatamente después de la entrada en calor. Los tubos capilares fueron centrifugados durante 4 min a $10000 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$ en una centrífuga para microhematocrito (*Hawksley, Londres*) y fueron analizados usando un lector para microhematocritos (*Hawksley, Londres*) para obtener una medida relativa de volumen de plasma.

Análisis Estadísticos

Todos los datos fueron analizados estadísticamente utilizando métodos mixtos de regresión lineal para medidas repetidas (*Random Effects Repeated Measures ANOVA*) usando el software STATA versión 10 (*StataCorp LP, College Station, TX*). En aquellos casos en que no se cumplieran de manera significativa los supuestos de la regresión lineal, se aplicó regresión logística ordinal. En aquellos casos en que se observaran diferencias estadísticamente significativas, se aplicó el test post hoc de Holms para identificar entre cuales medias se producían las diferencias. La significancia estadística se fijó en $P < 0,05$. Se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Excel para calcular las oportunidades en que los verdaderos efectos de la intervención fueran sustanciales, cuando se ingresara un valor mínimo de cambio que fuera considerable (2). La hoja de cálculo estimó los efectos medios de cada intervención y sus intervalos de confianza 90% y aportó inferencias significativas y la importancia clínica/práctica que los tratamientos SB y SC tuvieron sobre el rendimiento en comparación con el tratamiento D. Para determinar el valor más pequeño de cambio significativo para cada variable, se utilizó la fórmula $0,2 \times$ desviación estándar de la variable (17). Los estadísticos de grupo se presentan en forma de Media \pm Desviaciones estándar a menos que se especifique otra cosa.

RESULTADOS

El tratamiento SB se asoció con una mejora significativa en la potencia media (watts) durante la prueba de rendimiento de 2-min (EX) en comparación con el tratamiento SC ($P = 0,048$) y el tratamiento D ($P = 0,004$) ($514,9 \pm 49,7$, $504,3 \pm 51,0$ y $498,7 \pm 50,6$ watts, respectivamente (Tabla 1). No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa en la potencia media entre el tratamiento SC y el tratamiento D ($P = 0,24$). Al utilizar el enfoque inferencial basado en la magnitud, el efecto no se observó con claridad y cualquier beneficio de SC frente a D era trivial en la potencia media (17 % de probabilidad de que sea SC positivo. Tabla 1), con 0% oportunidad de un efecto negativo cuando se compara con D. Utilizando el mismo método de análisis, se observó una probabilidad de 56%/44%/0% de que SB produzca un resultado positivo/trivial/negativo para la potencia media en comparación con SC.

Se observó una tendencia hacia la existencia de diferencias en la potencia máxima entre los 3 tratamientos ($P = 0,09$) ya que SB produjo una potencia máxima promedio de 51,3 watts y 82,3 watts más alta que SC y D, respectivamente (Tabla 1). También se observó un posible efecto en la potencia máxima en el tratamiento SC en comparación con el tratamiento D (54% probabilidad de un resultado positivo). Los 8 sujetos produjeron una potencia media más alta en el tratamiento SB en comparación con el tratamiento D, y 7 sujetos alcanzaron su mejor resultado con el tratamiento SB (Figura 1). Cinco sujetos alcanzaron una potencia media más alta en el tratamiento SC en comparación con el tratamiento D (Figura 1).

Variable determinada	Tratamiento Media (90% CI)			p-valor	Probabilidad Práctica de que SB sea positivo/trivial/negativo	Probabilidad Práctica de que SC sea positivo/trivial/negativo	Probabilidad Práctica de que SB sea positivo/trivial/negativo (En comparación con SC)
	NaHCO ₃ (SB)	NaCl (SC)	Dextrosa (D)				
Potencia en 2-minutos (watts)	514,9 [#] (486,0 - 543,8)	504,3 [^] (474,6 - 534,0)	498,7 (469,2 - 528,1)	0,0005 ¹	93 / 7 / 0	17 / 83 / 0	56 / 44 / 0
Potencia máxima (watts)	935,4 (853,9 - 1016,8)	884,1 (795,2 - 973,1)	853,1 (764,6 - 941,6)	0,09 ¹	88 / 11 / 1	54 / 38 / 8	71 / 28 / 1
VO _{2max} ml•kg ⁻¹ •min ⁻¹	59,1 (53,4 - 64,8)	57,0 (51,1 - 62,9)	57,6 (52,2 - 63,1)	0,43 ²	42 / 56 / 2	0 / 99 / 1	59 / 39 / 2

Tabla 1. Variables fisiológicas y de rendimiento determinadas durante el EX para los 3 tratamientos, entre las que se incluyen la probabilidad de diferencias prácticamente considerables entre los tratamientos SB y SC en comparación con el tratamiento D, y la comparación entre los tratamientos SB y SC. 1 Identificados por un método paramétrico mixto de regresión lineal para mediciones repetidas. 2 Identificados por regresión logística ordinal no paramétrica debido a la distribución sesgada de los valores residuales. # Presenta diferencias significativas con D ($P < 0,05$). ^ Se observan diferencias significativas entre SB y SC ($P < 0,05$).

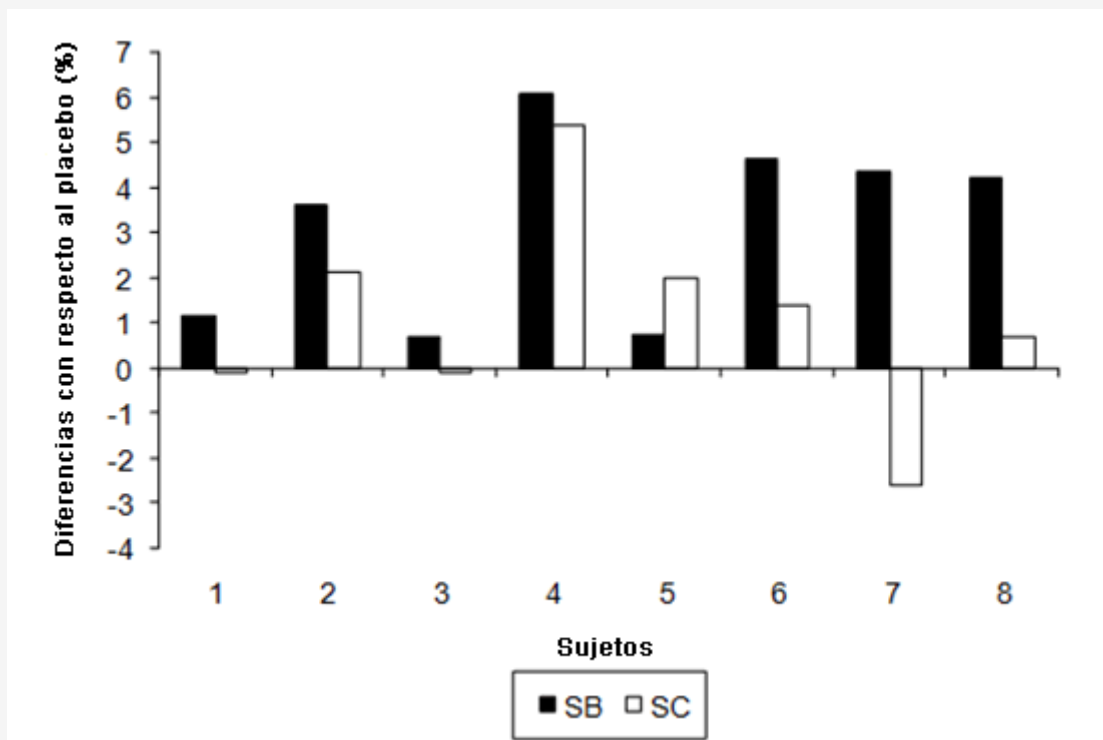


Figura 1. Diferencias porcentuales individuales identificadas por la producción de potencia media en el test de rendimiento de ciclismo de 2 min al comparar el tratamiento con bicarbonato de sodio (SB) y el tratamiento con cloruro de sodio (SC) con el tratamiento con el Placebo (D).

No se observaron diferencias significativas en $VO_{2\text{máx}}$ entre ninguno de los tratamientos (Tabla 1: $P > 0,05$) ni en el hematocrito entre los tratamientos en ningún punto (Figura 2). El análisis inferencial basado en la magnitud indicó un posible beneficio en el $VO_{2\text{máx}}$ en el grupo SB en comparación con D (42%/56%/2% probabilidad de un resultado positivo/trivial/negativo).

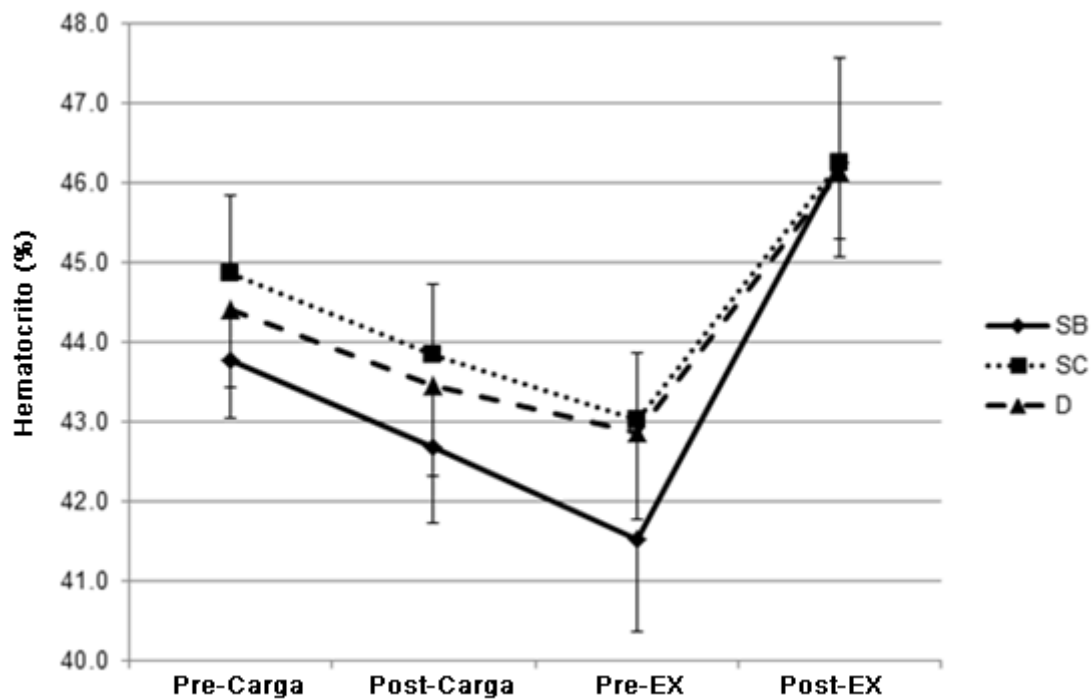


Figura 2. Valores del hematocrito pre-carga, inmediatamente post-carga, pre-EX (60 min post-carga) y post-EX. La figura demuestra que no se observa ninguna diferencia significativa en ningún punto de tiempo entre los grupos ($P > 0,05$). Las barras del error hacen referencia a \pm error estándar de la medición.

DISCUSIÓN

Debido a los resultados contradictorios sobre los efectos de la alcalosis inducida por NaHCO_3 en el rendimiento físico (1,21) y al hecho que los beneficios frecuentemente se atribuyen a los efectos de amortiguación (*buffering*) del HCO_3^- y no necesariamente el papel de Na^+ en la ingesta de NaHCO_3 , el objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos del NaHCO_3 y NaCl en el hematocrito y en el rendimiento en ciclistas altamente entrenados en comparación con una sustancia considerada como placebo. Los resultados del estudio actual sugieren que la carga con SB aumenta significativamente el rendimiento medio en el test de ciclismo de 2-min en comparación con los tratamientos SC y D. No se observaron diferencias significativas entre SC y D en el rendimiento medio del tests de ciclismo de 2-min con los análisis estadísticos tradicionales ($P = 0,24$). Al usar un enfoque inferencial basado en la magnitud, como el que se utiliza a menudo para estudiar las poblaciones pequeñas de deportistas altamente entrenados (3), los resultados fueron muy poco claros con un efecto trivial en el rendimiento en el grupo SC en comparación con el tratamiento D.

Al analizar nuestros datos utilizando inferencias basadas en la magnitud, observamos un 17%, 83% y 0% de probabilidad de que SC sea positivo, trivial o negativo, respectivamente, en el rendimiento medio del test de ciclismo de 2-min en comparación con D (Tabla 1). Al usar el mismo enfoque entre SB y SC, observamos una probabilidad de 56% de que SB sea positivo y de 44% de que sea trivial y una probabilidad de 0% que SB sea negativo en comparación con SC. Dado estas comparaciones entre SC y D, junto con la probabilidad de 44% que la diferencia entre SB y SC sea trivial, existiría cierta evidencia para sugerir que el efecto de amortiguación de protones del HCO_3^- no sería el único mecanismo para mejorar el rendimiento por medio de la carga con NaHCO_3 . También se evidencian resultados similares en los datos potencia máxima, con una 54% probabilidad de que SC sea positivo en comparación con D y una probabilidad de 8% que el efecto sea negativo sobre la potencia máxima durante el test de rendimiento (Tabla 1). En un ámbito deportivo aplicado, los entrenadores podrían implementar una estrategia que tenga una probabilidad positiva sobre el rendimiento, junto con una probabilidad muy baja de algún efecto negativo o perjudicial. Incluso cuando la probabilidad de obtener un resultado positivo es altamente trivial, si existe una probabilidad pequeña o ninguna probabilidad de que ocurra algún efecto perjudicial, la intervención merecería ser considerada.

El único otro estudio que comparó estas dos sustancias con un tratamiento con un placebo demostró un beneficio significativo tanto del NaHCO_3 como del NaCl en comparación con el control, y no observó diferencias significativas entre los dos tratamientos experimentales ($P > 0,05$). Una diferencia importante entre el estudio de Mitchell et al. (28) y el presente estudio es que nuestro protocolo de ejercicio era de mayor intensidad y de menor duración, lo incrementa la probabilidad de que el efecto buffer del bicarbonato produjera beneficios positivos en el rendimiento tal como sucedió. En contraste, Mitchell et al. (28) utilizaron un test de tiempo hasta el agotamiento a $\sim 80\%$ de $\text{VO}_{2\text{máx}}$, con una duración de ~ 30 min. Otra razón potencial para la diferencia en los resultados podría deberse al método de suplementación. El estudio de Mitchell et al. (28) usó infusión intravenosa de los suplementos, algo que en estos momentos está prohibido por la Agencia Mundial Antidopaje como método para administrar los suplementos en los deportes. Además, Mitchell et al. (28), realizaron la infusión de NaHCO_3 y NaCl durante el ejercicio (de ~ 30 min de duración), mientras que en el grupo placebo/control, no se realizó la infusión (se utilizó una cánula seca). Potencialmente, la infusión de NaHCO_3 y NaCl durante el ejercicio podría haber mejorado la termorregulación a través del mantenimiento de volumen plasmático y haber permitido un aumento en el flujo de sangre superficial y en la dispersión de calor (28). El estudio encontró tasas de sudoración más altas en los grupos NaHCO_3 y NaCl en comparación con el grupo control, lo que apoya esta afirmación. Investigaciones previas también han sugerido que habría temperaturas corporales centrales menores durante el ejercicio en el tratamiento con infusión salina en comparación con el tratamiento sin infusión (11). Estos factores podrían finalmente haber contribuido a una mejora en rendimiento en los tratamientos NaHCO_3 y NaCl debido a la mayor disponibilidad de flujo sanguíneo y, por consiguiente, de entrega de oxígeno a los músculos que están realizando ejercicio. Dado que nosotros realizamos la carga de los participantes a través de suplementación oral antes del ejercicio (y controlamos el consumo de fluidos); no necesariamente esperaríamos encontrar los mismos beneficios relacionados a la regulación térmica, tal como observamos en nuestros resultados en los cuales no observamos diferencia en el hematocrito entre el los tratamientos SB, SC y D.

Aunque exista una leve duda de si SB fue una ayuda ergogénica más eficaz que SC y D, los resultados del estudio actual deben ser investigados con detalle utilizando una muestra de mayor tamaño. Al igual que en el estudio de Mitchell et al. (28), nosotros también realizamos nuestro estudio con solo 8 sujetos. Lamentablemente, tal como ocurre cuando se realizan estudios de investigación con atletas entrenados, teníamos la limitación de contar con un tamaño de muestra pequeño. Es posible que al realizar el estudio con más sujetos se aclararen las diferencias en estos resultados y se obtenga mejor información sobre si el NaCl ejerce algún beneficio ergogénico en comparación con una sustancia placebo durante ejercicios de corta duración y de alta intensidad, debido a que la evidencia actual todavía no está clara (4,30).

Los resultados del estudio actual concuerdan con lo observado en investigaciones previas que sugieren que el consumo de NaHCO_3 puede mejorar el rendimiento en ejercicios de alta intensidad cuya duración es de 1 a 7 min (10, 13, 20, 35). Los resultados de estos estudios han sido atribuidos a una mayor concentración de bicarbonato y del pH extracelular, lo que ayuda a facilitar la salida de los iones H^+ y lactato de los músculos activos (5, 16, 18). Se piensa que este mecanismo mejora la producción glucolítica de ATP en el músculo y refuerza la capacidad contráctil de los músculos que están realizando el ejercicio (5, 23). Una posible explicación para que la concentración de Na^+ contribuya con el efecto de rendimiento global se relaciona con los cambios en el volumen intravascular y, quizás, con una mayor entrega de oxígeno. También se ha propuesto que los Na^+ podrían tener un efecto en la concentración intracelular (intramuscular) de H^+ , lugar dónde se esperaría que la acidosis limite el rendimiento físico (14). Sutton et al. (33) demostraron que la acidosis inhibe la glucólisis y la salida de lactato del músculo. Un posible mecanismo indirecto por medio del cual el Na^+ podría afectar el pH muscular es mejorando la perfusión del músculo y así, permitir una mayor entrega de oxígeno y una mayor remoción de los metabolitos. Una mejor perfusión muscular puede ser lograda a través de una expansión de volumen de plasma aguda (19, 28). Sin embargo, a pesar de la estimación bruta de la concentración sanguínea no se observaron diferencias significativas en el hematocrito de las muestras de sangre obtenidas en los puntos de tiempo en los 3 tratamientos. Luego del EX, el hematocrito aumentó en todos los grupos y no se observaron diferencias significativas entre grupos lo que probablemente estaría relacionado con la diaforesis y cambios en los fluidos dentro de los compartimientos del cuerpo (32).

Conclusiones

Este estudio se suma a las investigaciones existentes sobre la ingesta de NaHCO_3 y sus efectos sobre el rendimiento, demostrando una mejora de 3,2% en la producción de potencia media en ejercicios de ciclismo de 2 min luego de una carga de NaHCO_3 en comparación con un tratamiento con placebo en ciclistas altamente entrenados. El NaHCO_3 también contribuyó a una mejora de 9,6% en la potencia máxima en comparación con el placebo. La aplicación práctica de estos resultados podría ser transferida a cualquier deporte en el cual se requiera un período de tiempo y una intensidad similar (por ejemplo, diferentes eventos de ciclismo de pista, natación y carrera). Aunque en el presente estudio no se determinó el mecanismo por el cual la carga con NaHCO_3 mejora el rendimiento, puede estar relacionado a su influencia en la capacidad buffer muscular, ayudando a prevenir la acidosis metabólica y, por consiguiente, aumentando la capacidad de contracción del músculo durante el ejercicio. Si bien nosotros no observamos que el NaCl aumentara el rendimiento de un

modo significativamente similar al NaHCO_3 , su efecto no está todavía claro, y existiría una posible oportunidad de beneficio cuando se compara con el placebo. Por lo tanto, el uso de NaCl como una sustancia placebo válida al investigar los efectos de la carga con NaHCO_3 sobre el rendimiento físico, debe ser investigado en el futuro. Las investigaciones adicionales sobre los mecanismos exactos detrás de la carga con Na^+ y HCO_3^- en el ejercicio, que tengan en cuenta tamaños de muestra más grandes de deportistas altamente entrenados, podrían proporcionar mejores datos sobre si estas sustancias presentan propiedades ergogénicas para el rendimiento deportivo.

Contacto para Envío de Correspondencia

Driller M, Department of Physiology, Australian Institute of Sport, Canberra, ACT, Australia, 2617. Phone (+61410380199). Email: Matt.Driller@ausport.gov.au

REFERENCIAS

1. Aschenbach W, Ocel J, Craft L, Ward C, Spangenburg E, Williams J (2000). Effect of oral sodium loading on high-intensity arm ergometry in college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc*; 32(3):669-675
2. Batterham AM, Hopkins WG (2005). Making meaningful Inferences about magnitudes. *Sports*; 9:6-13
3. Batterham AM, Hopkins WG (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*; 1(1):50-57
4. Materko W, Novaes JS, Santos EL (2008). Effect of bicarbonate supplementation on muscular strength. *JEPonline*; 11(6):25-33
5. Bouissou P, Defer G, Guezennec CY, Estrade PY, Serrurier B (1988). Metabolic and blood catecholamine responses to exercise during alkalosis. *Med Sci Sports Exerc*; 20(3):228-232
6. Burke LM, Pyne DB (2007). Bicarbonate loading to enhance training and competitive performance. *Int J Sports Physiol Perform*; 2(1):93-97
7. Carr AJ, Hopkins WG, Gore CJ (2011). Effects of alkalosis and acidosis on performance: A meta-analysis. *Sports Med*; 41(10):801-814
8. Carr AJ, Slater GJ, Gore CJ, Dawson B, Burke LM (2011). Effect of sodium bicarbonate on $[\text{HCO}_3^-]$, pH, and gastrointestinal symptoms. *Int J Sport Nutr Ex Met*; 21(3):189-194
9. Chase PB, Kushmerick MJ (1988). Effects of pH on contraction of rabbit fast and slow skeletal muscle fibers. *Biophys J*; 53(6):935-946
10. Costill DL, Verstappen F, Kuipers H, Janssen E, Fink W (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO_3^- . *Int J Sports Med*; 5(5):228-231
11. Deschamps A, Levy RD, Cosio MG, Marliss EB, Magder S (1989). Effect of saline infusion on body temperature and endurance during heavy exercise. *J Appl Physiol*; 66(6):2799-2804
12. Douroudos, II, Fatouros IG, Gourgoulis V, Jamurtas AZ, Tsitsios T, Hatzinikolaou A, et al (2006). Dose-related effects of prolonged NaHCO_3 ingestion during high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*; 38(10):1746-1753
13. Goldfinch J, Mc Naughton L, Davies P (1988). Induced metabolic alkalosis and its effects on 400-m racing time. *Eur J Appl Physiol*; 57(1):45-48
14. Hermansen L, Osnes JB (1972). Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol*; 32(3):304
15. Hinchcliff K, McKeever K, Muir W, Sams R (1993). Effect of oral sodium loading on acid base status and athletic capacity of horses. *Med Sci Sports Exerc*; 25(5):s25
16. Hirche HJ, Hombach V, Langohr HD, Wacker U, Busse J (1975). Lactic acid permeation rate in working gastrocnemii of dogs during metabolic alkalosis and acidosis. *Pflug Arch Eur J Phys*; 356(3):209-222
17. Hopkins WG (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*; 30(1):1-15
18. Katz A, Costill DL, King DS, Hargreaves M, Fink WJ (1984). Maximal exercise tolerance after induced alkalosis. *Int J Sports Med*; 5(2):107-110
19. Kozak-Collins K, Burke ER, Schoene RB (1994). Sodium bicarbonate ingestion does not improve performance in women cyclists. *Med Sci Sports Exerc*; 26(12):1510-1515
20. Lavender G, Bird SR (1989). Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints. *Br J Sports Med*; 23(1):41-45
21. Linderman JK, Gosselink KL (1994). The effects of sodium bicarbonate ingestion on exercise performance. *Sports Med (NZ)*; 18(2):75-80
22. Mainwood GW, Worsley-Brown P (1975). The effects of extracellular pH and buffer concentration on the efflux of lactate from frog sartorius muscle. *J Physiol*; 250(1):1-22
23. Marx JO, Gordon SE, Vos NH, Nindl BC, Gómez AL, Volek JS, et al (2002). Effect of alkalosis on plasma epinephrine responses to high intensity cycle exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*; 87(1):72-77
24. Matson LG, Tran ZV (1993). Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: A meta-analytic review. *Int J Sport Nut*; 3(1):2-28
25. Maxwell BF, Withers RT, Ilesley AH, Wakim MJ, Woods GF, Day L (1998). Dynamic calibration of mechanically, air-and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol*; 78(4):346-352
26. McNaughton L, Backx K, Palmer G, Strange N (1999). Effects of chronic bicarbonate ingestion on the performance of high-intensity work. *Eur J Appl Physiol*; 80(4):333-336

27. McNaughton L, Thompson D (2001). Acute versus chronic sodium bicarbonate ingestion and anaerobic work and power output. *J Sports Med Phys Fitness*; 41(4):456-462
28. Mitchell TH, Abraham G, Wing S, Magder SA, Cosio MG, Deschamps A, et al (1990). Intravenous bicarbonate and sodium chloride both prolong endurance during intense cycle ergometer exercise. *Am J Med Sci*; 300(2):88-97
29. Nakamura Y, Schwartz A (1970). Possible control of intracellular calcium metabolism by H⁺: Sarcoplasmic reticulum of skeletal and cardiac muscle. *Biochem Biophys Res Commun*; 41:330-386
30. Robergs RA (2002). Blood acid-base buffering: Explanation of the effectiveness of bicarbonate and citrate ingestion. *JEPonline*; 5(3):1-5
31. Saltin B (1964). Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J Appl Physiol*; 19(6):1114-1118
32. Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ (2000). Blood volume: Importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc*; 32(2):332-348
33. Sutton J, Jones NJ, Toews CJ (1981). Effect on pH on muscle glycolysis during exercise. *Clin Sci*; 61:331-338
34. Van Montfoort MCE, Van Dieren L, Hopkins WG, Shearman JP (2004). Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running. *Med Sci Sports Exerc*; 36(7):1239
35. Wilkes D, Gledhill N, Smyth R (1983). Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. *Med Sci Sports Exerc*; 15(4):277-280