Monograph

Efectos Comparativos de Bebidas de Rehidratación Descafeinadas Seleccionadas sobre el Rendimiento de Corto Plazo luego de una Deshidratación Moderada

Peter G Snell[1], Robert Ward[2], Chithan Kandaswami[3] y Sidney J. Stohs[4]

[1]*University of Texas Southwestern Medical School, Dallas, TX, Estados Unidos.*
[2]*Sports Science Network, Dallas, TX, Estados Unidos.*
[3]*Castle Hills, TX, Estados Unidos.*
[4]*Health Sciences Center, Creighton University, Omaha, NE, Estados Unidos.*

RESUMEN

Introducción: Se estudió el efecto de la deshidratación moderada y de la posterior recuperación de fluidos sobre el rendimiento máximo de corta duración en cinta rodante en ocho varones saludables, entrenados (VO^2rnax = 49,7±8,7 mL $kg^{-1}\cdot min^{-1}$) de 28±7,5 años de edad. Métodos: El estudio se realizó siguiendo un diseño cruzado, aleatorizado en doble ciego, controlado por placebo. Inicialmente, todos los sujetos realizaron un test de ejercicio utilizando un protocolo en cinta rodante individualizado diseñado para inducir el agotamiento en 7 a 10 min. En cada uno de los tres días de evaluación subsiguientes, los sujetos realizaron ejercicio al 70-75% del VO^2rnax durante 60 min a 29-33°C, lo que produce una pérdida de peso por deshidratación de 1,8-2,1% de peso corporal. Después de 60 min de descanso y recuperación a 22 ºC, los sujetos realizaron la misma prueba en cinta rodante hasta el agotamiento voluntario, la cual produjo una pequeña disminución en el VO_{2max} y una disminución en el rendimiento en cinta rodante de 3% en relación a los resultados iniciales de la condición inicial. Luego de otros 60 min de descanso y recuperación, los sujetos ingirieron la misma cantidad de fluidos perdida a través del consumo de una de tres bebidas comerciales de sabor limón, administradas al azar, a saber *Crystal Light* (placebo control), *Gatorade®* y *Rehydrate Electrolyte Replacement Drink* y luego repitieron la prueba en cinta rodante hasta el agotamiento voluntario. Resultados: El VO_{2max} regresó a los niveles de la condición inicial con *Rehydrate*, mientras que sólo se observó una mejora ligera con *Gatorade* y *Crystal Light*. No se observó ningún cambio en la frecuencia cardíaca ni en la ventilación con las tres bebidas de reemplazo diferentes. En comparación con la condición de deshidratación, con *Crystal Light* se observó una disminución de 6,5% en el tiempo de rendimiento en cinta rodante, mientras que la recuperación con *Gatorade* que contiene fructosa, glucosa, sodio y potasio produjo una disminución de 2,1%. De manera contraria, el tratamiento con la bebida *Rehydrate* que contiene fructosa, polímero de glucosa, calcio, magnesio, sodio, potasio, aminoácidos, tioles y vitaminas produjo un incremento de 7,3% en el tiempo de ejercicio en cinta rodante en comparación con la condición de deshidratación. Conclusiones: Los resultados indican que, para el rendimiento físico máximo y para una recuperación eficaz asociados con la deshidratación inducida por el ejercicio de resistencia son importantes otros componentes diferentes al agua, los monosacáridos fáciles de transportar y el sodio.

Palabras Clave: deshidratación, rendimiento, agotamiento, sodio, carbohidratos

INTRODUCCION

Tanto el ejercicio prolongado como el ejercicio intermitente realizados a altas temperaturas aumentan la tasa metabólica y la producción de calor [1] y finalizan en deshidratación [2]. Las consecuencias de la deshidratación son la elevación de la temperatura corporal, aumento continuo en las perdidas de fluidos y electrólitos, y el agotamiento de nutrientes importantes, entre los que se incluyen el glucógeno muscular y hepático [1-3]. Cualquier déficit de fluidos que se produce durante una sesión de ejercicio puede comprometer potencialmente la próxima sesión de ejercicios si no se produce la adecuada recuperación de los fluidos. Por consiguiente, es sumamente importante recuperar los fluidos y electrólitos perdidos y reestablecer las reservas de energía rápidamente, para lograr la recuperación antes del advenimiento de la próxima sesión de ejercicio [3-5]. La ingesta de fluidos puede atenuar o prevenir muchas perturbaciones metabólicas, cardiovasculares, de regulación de la temperatura y de rendimiento que acompañan a la deshidratación [6-8].

La ingesta de bebidas deportivas descafeinadas que contienen nutrientes vitales como el agua, electrólitos y carbohidratos durante el ejercicio puede ayudar a mantener la homeostasis fisiológica [5,9^{-1}1], produciendo un mayor rendimiento y/o un menor estrés fisiológico en los sistemas cardiovascular, nervioso central y muscular de un atleta [8,11,12]. Tanto el volumen del fluido de rehidratación como su composición, son fundamentales para mantener la homeostasis de fluidos del cuerpo entero. La ingesta de carbohidratos durante el ejercicio prolongado puede favorecer el rendimiento, no sólo a través de una mayor oxidación de glucosa si no que también, indirectamente, a través de un aumento en la absorción de agua [5]. Los carbohidratos mejoran la absorción intestinal de sodio que a su vez favorece la retención de agua [13]. Cuando se mantiene un estado de hidratación apropiado, la inclusión de carbohidratos en una solución de rehidratación oral retrasa la aparición de fatiga durante la serie subsiguiente de ejercicios de alta intensidad en un ambiente caluroso [11,14].

La deshidratación inducida por el ejercicio, aunque sea leve (hasta 2% del peso corporal), afecta la capacidad de rendimiento aeróbico [11] y compromete las capacidades cognoscitivas [15, 16]. Entre los factores responsables de estos efectos podemos incluir la disminución en el volumen de plasma, que produce una disminución en la presión venosa, un menor llenado cardíaco, la elevación de temperatura central y el agotamiento de electrólitos como el sodio y posiblemente el potasio. La información sobre el impacto de la rehidratación sobre el trabajo a corto plazo, luego de deshidratación es escasa. Armstrong et al. [7] evaluaron el efecto de la deshidratación moderada (1,9 a 2,1% de peso corporal) inducida por la droga furosemida, sobre los tiempos de carrera y sobre una prueba de esfuerzo progresivo máxima de aprox. 12 min de duración. Se observó una reducción significativa en el tiempo máximo del test, pero no se observaron cambios en los valores máximos del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), frecuencia cardíaca (HR), ventilación (VE) o niveles de lactato. Yoshida et al. [17] demostraron que un umbral crítico de déficit de agua de 1,3 a 2,4% indujo una disminución significativa en la aptitud aeróbica y la potencia anaeróbica máxima que depende de las vías no oxidativas de producción de adenosín trifosfato (ATP).

Nielsen et al. [18] estudiaron la capacidad de realizar trabajo físico después de sufrir deshidratación e hipertermia y concluyeron que los efectos de la temperatura elevada, de la pérdida de agua corporal y del ejercicio previo no podían ser fácilmente distinguidos experimentalmente. Estas observaciones nos llevaron a diseñar un protocolo en el cual se permitiera recuperar el aumento de la temperatura de los sujetos durante la deshidratación y que minimizara los efectos del ejercicio previo. Por lo tanto planteamos una comparación entre la condición normal y la condición con deshidratación usando mediciones combinadas de rendimiento y respuestas fisiológicas.

Nosotros estábamos interesados en saber, hasta que punto la rehidratación mitiga las perturbaciones de rendimiento luego de la deshidratación inducida por el ejercicio y la temperatura, cuando la temperatura central no se ha incrementado. Un segundo objetivo del estudio fue probar nuestra premisa que ciertos aminoácidos, polímeros de carbohidratos, tioles protectores y vitaminas pueden aportar una ventaja de rendimiento. Sobre la base de la capacidad de ejercicio, evaluamos y comparamos los efectos de la rehidratación con bebidas deportivas comerciales descafeinadas con sabor a limón, a saber, *Gatorade* y *Rehydrate Electrolyte Replacement Drink* (*AdvoCare International*), y la bebida sabor limón *Crystal Light* como fluido de rehidratación control. Estos fluidos varían en el contenido de energía, electrólitos y nutrientes. El estudio fue realizado siguiendo un protocolo en doble ciego y controlado por placebo.

METODOS

Sujetos

Ocho hombres saludables que participaban regularmente en deportes de competición competitivos y estaban familiarizados con los tests de máxima intensidad en cinta rodante, fueron seleccionados para este estudio. Antes de dar su consentimiento fueron informados detalladamente sobre los procedimientos del estudio incluyendo los riesgos y beneficios. El protocolo de investigación fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional del Centro Médico de la Universidad del sudoeste de Texas. Las características físicas de los participantes se describen en la Tabla 1.

Sujeto	Edad (años)	Talla (cm)	Peso(kg)	VO_{2maxx} ($mL.min^{-1}$)	RER Maxima	Frecuencia cardíaca Máxima ($Lat.min^{-1}$)	VE Máxima ($L{\cdot}min^{-1}$)
1	22	193,0	81,6	3772	1,20	196	164,2
2	23	185,4	89,8	4347	1,21	208	158,6
3	28	182,9	79,4	3463	1,34	192	131,6
4	28	188,0	74,5	3049	1,27	175	130,5
5	39	182,9	96,1	4507	1,19	166	143,9
6	24	172,7	83,9	3236	1,23	NA*	105,8
7	23	175,3	84,4	3798	1,18	195	125,5
8	41	177,8	71,7	4531	1,07	170	139,5
Media	28,5	182,4	82,7	3838	1,21	186,0	137,5
Desviación estándar	7,5	6,8	7,9	575	0,08	15,7	18,7

Tabla 1. *Características de los sujetos obtenidas en la primera visita (condición inicial o línea de base).*

Diseño Experimental

En esta investigación se utilizó un diseño aleatorizado y doble ciego. El diseño experimental involucró una serie inicial de ejercicios de deshidratación de 60 min en condiciones de calor (27-33°C), seguida por 60 min de recuperación a aproximadamente 22°C, antes de realizar una prueba de ejercicio en cinta rodante individualizada diseñada para inducir el agotamiento en $7^{-1}0$ min. Después de la prueba de ejercicio, los sujetos tuvieron 60 min para recuperar completamente los fluidos perdidos (en base al peso) en el ejercicio anterior y a continuación repitieron el mismo protocolo de ejercicio de máxima intensidad. Las mediciones de intercambio de gases fueron realizadas mediante un dispositivo de medición del metabolismo (metabolic cart) (*Medical Graphics, St. Paul, MN EE.UU.*) durante la prueba de ejercicios para evaluar el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), ventilación (VE) y la tasa de intercambio respiratorio (RER). Además, se midió la frecuencia cardíaca (HR) en intervalos de uno y tres minutos durante las fases de ejercicio y de recuperación.

El estudio involucró cuatro visitas al laboratorio, inicialmente para efectuar la medición del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) y luego para realizar el protocolo de deshidratación y rehidratación para medir la eficacia de las tres condiciones de rehidratación sobre el rendimiento. El protocolo fue el siguiente: 1) 60 min de ejercicio moderado en condiciones calurosas (27-33°C); 2) 60 min de recuperación, prueba individualizada de máxima intensidad en cinta rodante hasta agotamiento voluntario y 3) 60 min de recuperación y rehidratación con fluidos (reemplazo del peso perdido), seguidos por una prueba máxima individualizada en cinta rodante hasta el agotamiento voluntario.

Durante la primera visita al laboratorio, se explicaron los procedimientos y se realizó una entrada en calor de 5 min en la cinta rodante para establecer la velocidad de la cinta que se utilizaría en la prueba de esfuerzo progresiva. Esta velocidad de carrera correspondió a un esfuerzo máximo en estado estable, una frecuencia cardíaca (HR) de 150 latidos por minuto (aproximadamente 80% de la HR máxima estimada) y/o un esfuerzo percibido de 15 en la escala de Borg. Después de un descanso de 5 a 10 min, los sujetos corrieron a su paso individualizado comenzando con una pendiente de 0%, la cual se incrementaba 2% cada dos min hasta el agotamiento voluntario. Entonces los sujetos fueron asignados al azar a las tres condiciones de rehidratación. Ni el investigador que ejecutaba las pruebas (PGS) ni los sujetos conocían las condiciones de rehidratación. La composición de las bebidas deportivas era similar en lo que respecta a la osmolalidad, pero era diferente por unidad de volumen en cuanto al contenido de energía, composición de energía, electrólitos, vitaminas y aminoácidos, tal como se observa en la Tabla 2. El peso exacto de fluidos perdidos entre el pesaje inicial y después de la prueba de deshidratación fue proporcionado a los sujetos, quienes consumieron el líquido en recipientes sin rótulos durante aproximadamente 30 min.

Ingredientes	Gatorade (240 mL)	Rehydrate (240 mL)	Crystal Light (240 mL)
Calorias	50	49	5
Osmolalidad (mOsm)	290-303	274	NA
Carbohidratos totales (g)	14	12,5	0
Azúcares (g)	14	9,7	0
Potasio (mg)	30	104	0
Sodio (mg)	110	104	35
Calcio (mg)	0	104	0
Magnesio (mg)	0	28	0
Cromo (picolinato) (mcg)	0	5	0
L-Glutamina (mg)	0	209	0
Glutation (mg)	0	50	0
L-Arginina (mg)	0	93	0
Pirdoxina alfacetoglutarato (mg)	0	105	0
Ubiquinona (coenzima Q10) (mcg)	0	11	0
Tiamina (B1 - mcg)	0	160	0
Riboflavina (B2 - mcg)	0	178	0
Niacina (mg)	0	2	0
Acido Pantoténico (B5 - mg)	0	1	0
Vitamina C (mg)	0	125	0
Vitamina A (como beta caroteno y palmitato de vitamina A UI	0	1044	0
Otros ingredientes:	Jarabe de sacarosa, jarabe de fructosa, glucosa, acido cítrico	Fructosa, maltodextrina (2,8g), ácido málico, dextrosa. sucralosa, ácido málico	

Tabla 2. *Composición de las bebidas Gatorade, Rehydrate y Cristal Light.*

Durante las visitas subsecuentes al laboratorio, se registraron los pesos de los sujetos sin ropa. Luego los sujetos realizaron ejercicios durante 60 min, ya sea corriendo al aire libre en condiciones calurosas, o en interior, corriendo alternadamente durante 10 min en una cinta rodante y luego pedaleando en una bicicleta ergométrica fija marca *Airdyne* durante 10 min a una temperatura ambiental de 28°C para alcanzar una condición de deshidratación y fatiga con una pérdida de peso simultánea de 1,4 □ 1,8 kg. Durante la tercera visita, dos sujetos, (JG y ZP), realizaron ejercicios en interior a 28°C alternando 10 min en cinta rodante y bicicleta ergométrica *Airdyne*. Los restantes participantes corrieron fácilmente 7,5 km al aire libre en condiciones soleadas a 32°C.

Análisis estadístico

Para calcular la media y las desviaciones estándar (SD) se utilizaron los métodos estadísticos estándar. Los datos descriptivos se presentan en forma de Media ± Desviación estándar. Las mediciones de las variables principales (VO_{2max} y tiempo en cinta rodante) fueron analizadas usando ANOVA de mediciones repetidas de la diferencia entre los valores de la condición deshidratados y los de la condición rehidratados como variable dependiente. Además, se compararon las diferencias entre las tres bebidas de reemplazo usando los menores cuadrados medios de estos modelos y se realizaron ajustes para efectuar comparaciones múltiples con la corrección de Bonferroni con el fin de evitar cometer error de tipo I. La posible influencia del nivel de deshidratación se evaluó mediante un análisis de covarianza. La significancia estadística en este estudio se fijó en $p<0,05$.

RESULTADOS

La pérdida de agua media durante la fase de deshidratación inicial varió de 1,54 a 1,81 kg, lo que corresponde a 1,8 ± 2,1% de pérdida en el peso corporal (Tabla 3). Este nivel de deshidratación produjo efectos mínimos en la HR máxima y VE en todos los individuos. Además, no se observaron diferencias significativas en HR o VE luego de la rehidratación con *Crystal Light* (control), *Gatorade* o *Rehydrate* (*AdvoCare International*) en relación con los valores de la línea de base o los valores obtenidos luego de la deshidratación (Tabla 3).

		Frecuencia Cardíaca (latidos.min^{-1})			Ventilación (L·min^{-1}-btps)		
Rehydrate	***Pérdida de Peso (kg)***	***Condición Inicial***	***Deshidratación***	***Rehidratación***	***Condición Inicial***	***Deshidratación***	***Rehidratación***
Media ± SD	1,69 ± 0,54	186,0 ± 15,7	183,5 ± 12,0	185,5 ± 12,5	137,5 ± 18,7	134,1 ± 15,4	139,3 ± 18,0
Gatorade							
Media ± SD	1,54 ± 0,63	186,0 ± 15,7	187,0 ± 14,5	183,0 ± 14,8	137,5 ± 18,7	136,4 ± 18,8	136,3 ± 21,4
Crystal Light							
Media ± SD	1,81 ± 0,59	186,0 ± 15,7	183,5 ± 14,8	180,1 ± 14,3	137,3 ± 18,6	134,0 ± 17,9	134,2 ± 17,4

Tabla 3. *Valores máximos de frecuencia cardíaca y ventilación obtenidos durante la prueba de rendimiento en cinta rodante en la condición inicial, luego de la deshidratación y luego de la rehidratación*

Los valores del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) se presentan en la Tabla 4 expresados tanto en forma de mL.kg^{-1} min^{-1} como en mL.min^{-1}. En relación con los valores de la línea de base, la deshidratación produjo disminuciones pequeñas pero no significativas en estos valores. La rehidratación con *Crystal Light* (control) no restauró el VO_{2max} a los valores de la línea de base. La rehidratación con *Gatorade* permitió recuperar el VO_{2max} ligeramente por debajo de los valores de la línea de base, mientras que la rehidratación con *Rehydrate* produjo un VO_{2max} (mL·min^{-1}) 2,9% superior al estado rehidratado y por encima de la línea de base (Tabla 4). Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los datos sugirieron que la recuperación más favorable se producía cuando se consumía *Rehydrate* para lograr la rehidratación en comparación con *Gatorade* y *Crystal Light*.

En la Figura 1 se presentan los efectos de la deshidratación seguidos por la rehidratación con las tres bebidas evaluadas sobre los tiempos de ejercicio en cinta rodante. La deshidratación produjo una disminución media de 6,5% en los tiempos de ejercicio en cinta rodante en relación a los valores de la línea de base. Esta disminución en el tiempo de rendimiento en cinta rodante luego de la deshidratación fue estadísticamente significativa ($P < 0,002$). La rehidratación con *Crystal Light* produjo una disminución adicional de 5,8% en el tiempo de rendimiento en cinta rodante. La rehidratación con *Gatorade* produjo una disminución adicional en el tiempo de rendimiento en cinta rodante de de 2,1% en relación al estado deshidratado que estaba 6,7% por debajo de la línea de base. La rehidratación con *Rehydrate* produjo un aumento de 7,3% en el tiempo de ejercicio en cinta rodante en relación al estado deshidratado que estaba 1,1% por debajo de la línea de base (Figura 1).

	$V0_2$max (mL.kg^{-1}.min^{-1})		**$V0_2$max (mL.min^{-1})**	
Línea de base	46,6 ± 7,4		3837,0 ± 575,5	
	Deshidratado	***Rehidratado***	***Deshidratado***	***Rehidratado***
Rehydrate	46,4 ± 5,5	46,6 ± 6,0	3750,8 ± 501,4	3861,3 ± 574,3
Gatorade	46,4 ± 0,7	46,4 ± 6,3	3773,7 ± 555,9	3826,5 ± 600,4
Crystal Light	45,7 ± 5,2	45,1 ± 5,6	3697,9 ± 365,9	3738,9 ± 449,0

Tabla 4. *Valores de la Media ± DS para el VO_{2max} en la línea de base, luego de la deshidratación y luego de la rehidratación.*

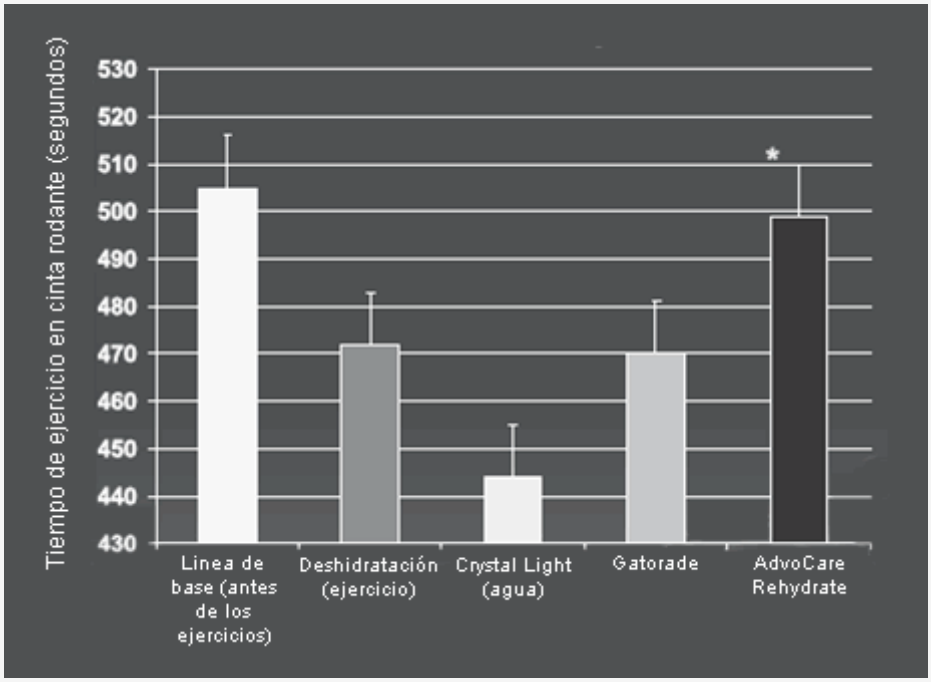

Figura 1. *Efectos de la rehidratación con las bebidas Crystal Light, Gatorade y Rehidrate sobre el rendimiento en cinta rodante determinados en comparación con el rendimiento en la línea de base y en la condición deshidratación.*
**P<0,05 con respecto a Crystal Light y Gatorade.*

La evaluación de diferencias de a pares de los tiempos de cinta rodante luego de la rehidratación reveló que las diferencias entre *Rehydrate* y *Crystal Light* y entre *Rehydrate* y *Gatorade* después del ajuste para las comparaciones múltiples (Bonferroni) eran estadísticamente significativas (p <0,001 y p <0,016, respectivamente), mientras que la diferencia en los tiempos de cinta rodante entre Cristal Light y *Gatorade* no eran significativas (p <0,222). La Figura 2 proporciona un gráfico de concordancia que muestra los tiempos de cinta rodante en la condición deshidratados e rehidratados para cada uno de los sujetos. Los sujetos que se encuentran por encima de la línea mejoraron con el reemplazo de fluidos, tal es el caso la mayoría de los individuos que reemplazaron sus fluidos con *Rehydrate*. Los resultados sugieren que la composición del fluido de rehidratación desempeña un papel importante en la recuperación y el rendimiento luego de deshidratación moderada.

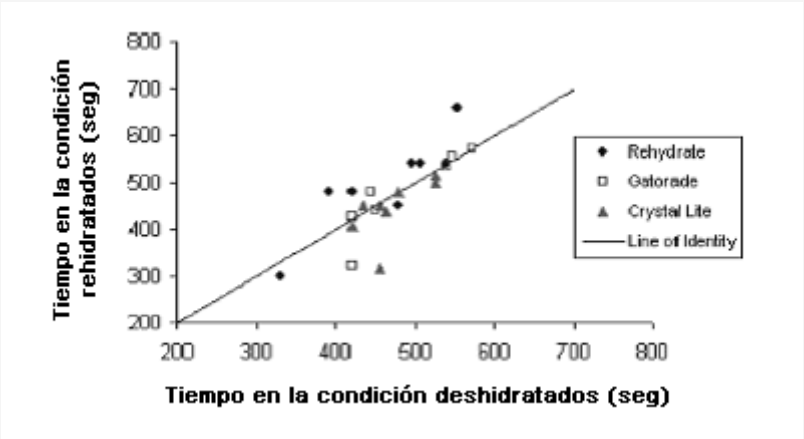

Figura 2. *Gráfico de concordancia que muestra los tiempos de ejercicio en cinta rodante para cada sujeto en condición deshidratados*

e hidratados. Los sujetos que se encuentran por encima de la línea de identidad mejoraron con el reemplazo de fluidos.

DISCUSION

En esta investigación, nosotros evaluamos los efectos de la deshidratación moderada inducida por el ejercicio de resistencia previo y de la rehidratación subsecuente con dos ayudas ergogénicas diferentes, *Gatorade* que contiene sodio, fructosa y glucosa y *Rehydrate* que contiene fructosa, glucosa, maltodextrina, aminoácidos como L-glutamina y L-arginina, diferentes electrólitos y vitaminas (carbohidratos cualitativamente diferentes y electrólitos), en relación con un fluido control (*Crystal Light* que contiene sodio) sobre el rendimiento a corto plazo (7^{-1}0 min) y el gasto de energía. El orden en que los tres productos de rehidratación fueron usados fue completamente aleatorizado y por lo tanto no afectó los resultados del estudio. Los resultados indican que los efectos de fatiga producida por la carrera de deshidratación y la prueba de rendimiento en condiciones de deshidratación no fueron superados por la rehidratación con *Crystal Light*, que esencialmente es un producto de agua saborizada y de hecho produjo una disminución en el rendimiento.

No está claro hasta qué punto las diferencias en los electrólitos de los tres fluidos de rehidratación (Tabla 2) contribuyeron con las diferencias en el rendimiento (Figura 1). La bebida *Crystal Light* contiene un poco de sodio y nada de potasio, calcio o magnesio. En comparación con *Rehydrate*, *Gatorade* contiene muy poco potasio y no contiene magnesio o calcio. La falta de sodio y potasio podría jugar un papel significativo en la disminución del rendimiento producida por Cristal Light. Las osmolalidades de *Gatorade* y *Rehydrate* eran similares, mientras que Cristal Light casi no tenía efecto osmótico. Estas diferencias podrían haber contribuido con una diferencia resultante en la distribución de fluidos tanto intracelularmente como extracelularmente y como consecuencia haber influido en el rendimiento.

La rehidratación con *Gatorade* produjo una respuesta intermedia en el rendimiento en cinta rodante que no fue significativamente diferente de la producida por la rehidratación con Cristal Light. Por otro lado, la rehidratación con *Rehydrate* pudo anular los efectos potenciales de la fatiga de la carrera en condicione de deshidratación y mejorar el tiempo en la cinta rodante después de una deshidratación limitada, en comparación con el obtenido con *Gatorade* y Cristal Light. Dado que no se observó ningún cambio significativo en HR máxima, VE o en el volumen de fluidos, la mejora de rendimiento observada en la rehidratación con *Rehydrate* no podría ser explicada por los cambios en estos parámetros. Los resultados sugieren que la calidad, composición y volumen de la bebida de rehidratación son fundamentales para regular la resistencia de corto plazo.

Existen pocas investigaciones diseñadas para delinear las demandas metabólicas del ejercicio a corto plazo debido a las dificultades metodológicas inherentes en el establecimiento de condiciones de estado estable asociadas con este tipo de ejercicio. El diseño del presente estudio combinó un efecto de deshidratación y un efecto de fatiga residual para crear condiciones, en las que el reemplazo de fluidos, electrólitos y combustible podría conferir efectos beneficiosos. La disminución en el tiempo de ejercicio en cinta rodante producida por la rehidratación con *Crystal Light* podría ser interpretada como fatiga residual, ya que no había ninguna diferencia en los volúmenes de rehidratación entre los tres tratamientos. Los datos indican una reducción moderada en el rendimiento en los sujetos deshidratados (Figura 1).

El parámetro fisiológico VO_{2max}, una medida de capacidad aeróbica (la mayor velocidad con la que el cuerpo utiliza O^2 durante el ejercicio de alta intensidad) [19-21], sólo se redujo de manera limitada con el nivel de deshidratación logrado en este estudio (Tabla 4). Este déficit moderado en el VO_{2max} podría señalar el advenimiento de fatiga ya que la fatiga a menudo está precedida por una meseta o incluso una disminución en VO_{2max} en las etapas iniciales de la tarea del ejercicio [22]. En esta investigación, el cambio observado en el VO_{2max} después de la deshidratación coincide con lo obtenido por Buskirk et al. [23] y Saltin [24], aunque Craig y Cumming [25] reportaron una reducción de 10% en VO_{2max} con un grado similar de deshidratación (1,9%). Una mayor aptitud física puede ser un factor que aporte protección adicional contra las disminuciones inducidas por la deshidratación en el VO_{2max} debido al mayor volumen de plasma en ciertos individuos que son físicamente más competentes que otros.

Mientras que la rehidratación con *Gatorade* o Cristal Light produjo valores de VO_{2max} menores que los de la línea de base, en la rehidratación con *Rehydrate* se observó un aumento moderado en el VO_{2max}. En las competencias deportivas, la diferencia entre un rendimiento bueno y un rendimiento excelente puede ser relativamente estrecha. Maughan et al. [26] concluyeron que los aumentos en el rendimiento, aunque pueden ser pequeños, son extremamente importantes para el resultado de una carrera y para los atletas involucrados. Por ejemplo, un tiempo bueno de 4 min 10 seg (250 seg) en la carrera de una milla es sólo 4% mayor que un tiempo de categoría élite de 4 min. El VO_{2max} es un estimador sensible del rendimiento solo cuando las correlaciones se realizan entre un amplio rango de habilidades. Además, una comparación del

VO_{2max} de corredores top no reveló ninguna relación entre VO_{2max} y los tiempos de carrera [27].

El aporte de polímeros de glucosa (maltodextrina) como carbohidratos transportables además de fructosa en la bebida *Rehydrate* puede haber permitido obtener algunos beneficios en el rendimiento. La tasa de vaciado gástrico de las soluciones de polímeros de glucosa que generalmente es más alta que la de soluciones de glucosa libre [28] puede producir una mayor absorción intestinal y suministro de nutrientes a los músculos activos [10]. Las soluciones que contienen polímeros de glucosa poseen una mayor densidad de energía que las bebidas que contienen azúcares simples con osmolalidad similar [29] y también tienen la capacidad de aumentar al máximo la resíntesis de glucógeno en los músculos [10]. Los polímeros de glucosa sufren la degradación a glucosa por las amilasas salivales y pancreáticas y por las glucoamilasas de las mucosas en el tracto gastrointestinal superior, lo que produce una absorción, utilización y oxidación más prolongadas que las obtenidas con azúcares simples [30, 31]. La tasa de oxidación de maltodextrina es más alta que la de la fructosa [10, 32]. Sin embargo su combinación, puede facilitar la conversión/oxidación sostenida en el cuerpo y puede producir una oxidación más alta que la obtenida solo con los carbohidratos formados por una sola molécula [33], retardando la aparición de la fatiga, ahorrando las reservas endógenas de carbohidratos y aumentando así la resistencia.

Tanto la L-glutamina y el polímero de glucosa, presentes en *Rehydrate*, promueven el almacenamiento de glucógeno muscular mientras que la ingesta simultánea de L-glutamina y polímero de glucosa, refuerza el almacenamiento de carbohidratos fuera del músculo esquelético [34,35], siendo el hígado el sitio más probable. El metabolismo de L-glutamina es un indicador de generación de piruvato y de la capacidad metabólica durante el ejercicio de ciclismo en seres humanos [36]. La reducción de la L-glutamina plasmática, un sustrato anaplerótico, parece ser un indicador de estrés severo asociado al ejercicio. Su disponibilidad regula la homeostasis de la glucosa durante y después del ejercicio y así podría tener implicaciones en la recuperación post-ejercicio [37]. Algunos de los efectos de la L-glutamina pueden estar mediados por la citoquina, IL-6, un polipéptido inmunoregulador implicado en el mantenimiento de la homeostasis de la glucosa, en la función muscular y en la preservación de las células musculares durante el ejercicio intenso.

Los niveles plasmáticos de L-glutamina disminuyen durante el ejercicio, lo que a su vez puede disminuir la síntesis y liberación de IL-6 por las células del músculo de esquelético. La administración de L-Glutamina durante el ejercicio y durante las etapas de recuperación previene la depresión en L-glutamina y por consiguiente aumenta la síntesis de IL6 [38].

Tanto la proteína quinasa activada por AMP (AMPK) como la IL6 serían sensores independientes de una concentración baja de glucógeno muscular durante el ejercicio [39]. La AMPK es un sensor metabólico importante en los sistemas de respuesta al estrés de los mamíferos y se activa por el ejercicio [40]. La IL-6 activa la actividad de AMPK muscular y del tejido adiposo en respuesta al ejercicio [39,41]. La activación de AMPK podría provocar un aumento en la producción de ATP a través de un aumento en la importación de ácidos grasos libres en la mitocondria y de la oxidación subsecuente [42]. Estas observaciones indican los beneficios potenciales de la L-glutamina de regular por incremento la producción celular de IL-6 y de activar la AMPK que modula el consumo de carbohidratos y la homeostasis de la energía.

Yaspelkis e Ivy [43] informaron que la suplementación con L-arginina podría aumentar la síntesis de glucógeno muscular post-ejercicio y podría ejercer efectos positivos potenciales sobre la recuperación del músculo esquelético después del ejercicio, posiblemente aumentando la secreción de insulina y/o el metabolismo de los carbohidratos. La evidencia acumulada sostiene el papel del óxido nítrico (NO) endotelial, producido por la L-arginina, en el metabolismo energético y el aumento del rendimiento [44]. El bloqueo central del NO aumenta el costo metabólico durante el ejercicio, disminuye la eficacia mecánica y atenúa el rendimiento de carrera en ratas [45]. Otras investigaciones [46] reportaron que la captación de glucosa en el músculo esquelético inducida por AMPK depende del NO, lo que indica potenciales efectos positivos de la L-arginina en el metabolismo y funcionamiento muscular, con implicaciones para la resistencia. La provisión de L-arginina durante la rehidratación con *Rehydrate* podría ser beneficiosa para mantener el flujo de sangre del músculo cardíaco y esquelético [47]. Estas acciones farmacológicas podrían mitigar el impacto potencial de fatiga inminente durante una tarea de ejercicio máxima. La función coordinada de algunos de los nutrientes metabólicamente conectados incluidos en *Rehydrate* no sólo puede ser fundamental para la transducción de energía celular si no que también para la preservación de las células musculares la y el mantenimiento de la homeostasis celular.

Conclusiones

En resumen, la información aportada por este estudio sugiere que un fluido de rehidratación que contenga monosacáridos transportables, fructosa y dextrosa, polímeros de glucosa (maltodextrina), electrólitos como sodio y potasio, aminoácidos condicionalmente esenciales y otros nutrientes produce un mayor rendimiento, lo cual posee implicaciones para alcanzar el éxito en el ámbito competitivo. Por consiguiente, los constituyentes de esta bebida albergan el potencial para mitigar perturbaciones metabólicas y fisiológicas y mejorar las disminuciones de rendimiento. Los efectos farmacológicos reconocidos de algunos de los importantes nutrientes constituyentes de esta bebida de rehidratación podrían proporcionar una base para su presunto y postulado rol en el rendimiento físico.

Lista de Abreviaturas

VO_{2max}: consumo de oxígeno máximo; HR: frecuencia cardíaca; VE: ventilación; RER: Tasa de intercambio respiratorio; NO: óxido nítrico; AMPK: Proteinquinasa activada por AMP.

Agradecimientos

Agradecemos a Beverley Adams-Huet por efectuar el análisis estadístico.

Contribuciones de los Autores

PGS realizó contribuciones sustanciales al diseño experimental, la adquisición de los datos, la interpretación de los datos y la redacción del manuscrito. RW realizó importantes contribuciones al diseño experimental, adquisición de los datos, e interpretación de los mismos. SJS contribuyó con la concepción del estudio, la interpretación de los datos y la redacción del manuscrito. CK participó en la concepción del estudio, interpretación de los datos, la revisión de la literatura y redacción del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito de final.

Intereses de Competencia

Los autores declaran que no poseen intereses de competencia.

REFERENCIAS

1. Maughan RJ, Shirreffs SM (2004). Rehydration and recovery after exercise. A short survey. *Sci Sport, 19:2341-238*
2. Sawka MN, Montain SJ, Latzka WA (2001). Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comp Biochem Physiol A, 128:679-690*
3. Maughan RJ, Shirreffs SM (1997). Recovery from prolonged exercise: restoration of water and electrolyte balance. *J Sports Sci, 15:297-303*
4. Von Duvillard SP, Arciero Pj, Tietjen-Smith T, Alford K (2008). Sports drinks, exercise training and competition. *Curr Sports Med Rep, 7:202-208*
5. Rehrer N (2001). Fluid and electrolyte balance in ultra- endurance sport. *Sports Med, 31:701-715*
6. Pitts G, Consolazio FC (1944). Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. *Am J Physiol, 142:253-259*
7. Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV, Hoffman JR, Kavouras SA, Kenefick RW, Castellani JW, Ahlquist LE (1997). Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol, 82:2028-2035*
8. Carter R III, Cheuvront SN, Wray DW, Kolka MA, Stephenson LA, Sawka MN (2005). The influence of hydration status on heart rate variability after exercise heat stress. *J Thermal Biol, 30:495-502*
9. Burke LM (2001). Nutrition needs for exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol A Integr Physiol, 128:735-748*
10. Brouns F, Nieuwenhoven MV, Jeukendrup A, Marken Lichtenbelt WV (2002). Functional foods and food supplements for athletes: from myths to benefit claims substantiation through the study of selected biomarkers. *Br J Nutr, 88(Suppl 2):S177-188*
11. Coyle EF (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci, 22:39-55*
12. Mitchell JB, Philips MD, Mercer SP, Baylies HL, Pizza FX (2000). Post-exercise rehydration: effect of Na+ and volume on restoration of fluid spaces and cardiovascular function. *J Appl Physiol, 89:1302-1309*
13. Shi X, Gisolfi CV (2010). Fluid and electrolyte replacement during intermittent exercise. *Sports Med 1998, 25:157-172. Snell et al. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 7:28 http://www.jissn.com/content/7/1/28*
14. Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA (1997). Nutritional strategies to minimize fatigue during prolonged exercise: Fluid, electrolyte and energy replacement. *J Sport Sci 1997, 15:305-313*
15. Mudambo KS, Leese GP, Rennie MJ (1997). Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 76:517-524*
16. Van den Eynde F, van Baelen PC, Portzky M, Audenaert K (2008). The effects of energy drinks on cognitive function. *Tijdschr Psychiatr, 50:273-281*
17. Yoshida T, Takanishi T, Nakai S, Yorimoto A, Morimoto T (2002). The critical level of water deficit causing a decrease in exercise performance: a practical field study. *Eur J Appl Physiol, 87:529-534*
18. Nielsen B, Kubica R, Bonnesen A, Rasmussen IB, Stoklosa J, Wilk B (1981). Physical work capacity after dehydration and hyperthermia. *Scand J Sports Sci, 3:2-10*
19. Hill AV, Lupton H (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med, 16:135-171*
20. Hill AV, Long CNH, Lupton H (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen-VII-VIII. *Proc R Soc Lond B Biol Sci, 97:155-167*
21. Mitchell JH, Blomqvist G (1971). Maximal oxygen uptake. *N Eng J Med, 284:1018-1022*
22. Åstrand PO, Saltin B (1961). Oxygen uptake during the first min of heavy exercise. *J Appl Physiol, 16:971-976*
23. Buskirk ER, Iampietro PF, Bass DE (1958). Work performance after dehydration: effects of physical condition and heat

acclimatization. *J Appl Physiol, 12:189-194*
24. Saltin B (1964). Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J Appl Physiol, 19:1114-1118*
25. Craig FN, Cummings EG (1966). Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol, 21:670-674*
26. Maughan RJ, King DS, Lea T (2004). Dietary Supplements. *J Sport Sci, 22:95-113*
27. Snell PG, Mitchell JH (1984). The role of maximal oxygen uptake in exercise performance. *In Clinical Chest Medicine. Edited by: Loke J. Saunders, Philadelphia; 5:51-61*
28. Maughan RJ, Rehrer NJ (1993). Gastric emptying during exercise. *Sports Science Exchange No. 46 (Gatorade Sports Science Inst), 7:1-6*
29. Wapnir RA, Sia MC, Fisher SE (1966). Enhancement of intestinal water absorption and sodium transport by glycerol in rats. *J Appl Physiol, 81:2523-2527*
30. Jones BJ, Brown BE, Loran JS, Edgerton D, Kennedy JF, Stead JA, Silk DBA (1983). Glucose absorption from starch hydrolysates in the human jejunum. *Gut, 24:1152-1160*
31. Wheeler KB, Banwell JG (1986). Intestinal water and electrolyte flux of glucosepolymer electrolyte solutions. *Med Sci Exer, 18:436-439*
32. Jeukendrup AE, Jentjens R (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med, 29:407-424*
33. Adopo E, Peronnet F, Massicotte D, Brisson GR, Hillaire-Marcel C (1994). Respective oxidation of exogenous glucose and fructose given in the same drink during exercise. *J Appl Physiol, 76:1014-1019*
34. Rhoads MJ, Wu G (2009). Glutamine, arginine, and leucine signaling in the intestine. *Amino Acids, 37:111-122*
35. Bowtell JL, Gelly K, Jackman M, Patel A, Simeoni M, Rennie MJ (1999). Effect of oral glutamine on whole body carbohydrate storage during recovery from exhaustive exercise. *J Appl Physiol, 86:1770-1777*
36. Mourtzakis M, Saltin B, Graham T, Pilegaard H (2006). Carbohydrate metabolism during prolonged exercise and recovery: Interactions between pyruvate dehydrogenase, fatty acids and amino acids. *J Appl Physiol, 100:1822-1830*
37. Iwashita S, Williams P, Jabbour K, Ueda T, Kobayashi H, Baier S, Flakoll PJ (2005). Impact of glutamine supplementation on glucose homeostasis during and after exercise. *J Appl Physiol, 99:1858-1865*
38. Hiscock NE, Petersen W, Krzywkowski K, Boza J, Halkjaer-Kristensen J, Pedersen BK (2003). Glutamine supplementation further enhances exerciseinduced plasma IL-6. *J Appl Physiol, 95:145-148*
39. MacDonald C, Wojtaszewski JF, Pedersen BK, Kiens B, Richter EA (2003). Interleukin-6 release from human skeletal muscle during exercise: relation to AMPK activity. *J Appl Physiol, 95:2273-2277*
40. Winder WW, Hardie DG (1996). Inactivation of acetyl-CoA carboxylase and activation of AMP-activated protein kinase in muscle during exercise. *Am J Physiol, 270:E299-304*
41. Kelly M, Keller C, Avilucea PR, Keller P, Luo Z, Xiang X, Giralt M, Hidalgo J, Saha AK, Pedersen BK, Ruderman NB (2004). AMPK activity is diminished in tissues of IL-6 knockout mice: the effect of exercise. *Biochem Biophys Res Commun, 320:449-454*
42. Winder WW (1998). Malonyl-CoA regulator of fatty acid oxidation in muscle during exercise. *Exerc Sport Sci Rev, 26:117-132*
43. Yaspelkis BB III, Ivy JK (1999). The effect of a carbohydrate-arginine supplement on postexercise carbohydrate metabolism. *Int J Sport Nutr, 9:241-250*
44. Jobgen WS, Fried SK, Fu WJ, Meininger CJ, Wu G (2006). Regulatory role for the arginine-nitric acid pathway in metabolism of energy substrates. *J Nutr Biochem, 17:571-588*
45. Lacerda ACR, Marubayashi U, Balthazar CH, Coimbra CC (2006). Evidence that brain nitric oxide inhibition increases metabolic cost of exercise, reducing running performance in rats. *Neurosci Lett, 393:260-263*
46. Shearer J, Fueger PT, Vorndick B, Bracy DP, Rottman JN, Clanton JA, Wasserman DH (2004). AMP kinase-induced skeletal muscle glucose but not long-chain fatty acid uptake is dependent on nitric oxide. *Diabetes, 53:1429-1435*
47. Wu G, Davis TA, Kim SW, Li P, Rhoads MJ, Satterfield CM, Spencer TE, Yin Y (2009). Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. *Amino Acids, 37:153-168*

Cita Original

Snell Peter, Robert Ward, Chithan Kandaswami y Sidney Stoh. Comparative effects of selected noncaffeinated rehydration sports drinks on short-term performance following moderate dehydration. Journal of the International Society of Sports Nutrition; 7:28, 2010.