

Article

# Rehidratación Post-Ejercicio en Varones: Efectos de la Osmolalidad y del Contenido de Carbohidratos de las Bebidas Consumidas

Gethin H Evans, Susan M Shirreffs y R. Maughan

*School of Sport and Exercise Sciences. Loughborough University, Loughborough, United Kingdom.*

## RESUMEN

**Objetivo:** Este estudio investigó el efecto de la osmolalidad y del contenido de carbohidratos de las bebidas sobre su efectividad para rehidratar después de la deshidratación inducida por el ejercicio. **Métodos:** Seis voluntarios masculinos sanos experimentaron una deshidratación del  $1,9 \pm 0,1\%$  de la masa corporal mediante ejercicios intermitentes en bicicleta ergométrica en condiciones de calor antes de ingerir una de tres soluciones con diferentes contenidos de carbohidratos y osmolalidades, durante un período de 1 hora. Treinta minutos después de la finalización del ejercicio, los sujetos bebieron un volumen que equivalía a 150% (130-150, mediana [rango]) de su pérdida de masa corporal. Las bebidas contenían 25 mmol/L de  $\text{Na}^+$  y 0%, 2% o 10% de glucosa y con osmolalidades de  $79 \pm 4$ ,  $193 \pm 5$  y  $667 \pm 12$  mOsm/kg (Media  $\pm$  SD), respectivamente. Las muestras de sangre y de orina se recolectaron antes del ejercicio, después del ejercicio y 0, 1, 2, 3, 4 y 6 h después de finalizar el período de rehidratación. **Resultados:** En el tratamiento con 10% se retuvo una cantidad significativamente mayor del fluido ingerido ( $46 \pm 9\%$ ) que en el tratamiento con 0% ( $27 \pm 13\%$ ), y en el tratamiento con 2% se retuvo  $40 \pm 14\%$ . Los sujetos permanecieron euhydratados durante 1 hora más en el tratamiento con 10% de glucosa que en el tratamiento con 2% de glucosa. En el tratamiento con 2% de glucosa, el volumen de plasma aumentó inmediatamente después de la rehidratación y luego de 1 h después de la rehidratación. **Conclusión:** Este estudio sugiere que, luego del protocolo de rehidratación usado, las bebidas hipertónicas con glucosa y sodio pueden ser más efectivas para restaurar y mantener el estado de hidratación después de la pérdida de sudor que las soluciones más diluidas cuando la concentración de sodio es comparable.

**Palabras Clave:** Deshidratación; balance de fluidos; osmolalidad de las soluciones; retención de fluidos; producción de orina

## INTRODUCCION

La pérdida de agua corporal que se produce como consecuencia de la pérdida de sudor durante el ejercicio prolongado, es al menos parcialmente responsable del desarrollo progresivo de fatiga, que con el tiempo produce la interrupción del ejercicio en condiciones calurosas [1-3]. La hipohidratación es frecuente luego de ejercicios que provocan grandes volúmenes de pérdida de sudor, porque el volumen de fluidos consumido durante el ejercicio es generalmente menor al volumen que se pierde por el sudor [4]. El agua y los electrolitos perdidos durante el ejercicio deben ser recuperados

rápidamente en el período post-ejercicio, si se va a realizar una serie de ejercicio adicional inmediatamente después.

Las investigaciones que han estudiado sistemáticamente el efecto de diferentes volúmenes sobre la eficacia de la rehidratación post-ejercicio, han observado que se necesita un volumen de fluido mayor que el volumen de masa corporal perdido para restaurar el balance de fluidos, después de la hipohidratación inducida por el ejercicio [5,6]. El volumen adicional es necesario para contrarrestar las pérdidas continuas de agua a través de los riñones y por otras vías, pero la ingestión de grandes volúmenes durante un período corto provoca una respuesta diurética. Por consiguiente, si se consume un volumen de bebida mayor que el equivalente a la pérdida de masa corporal después del ejercicio, la composición de la bebida de rehidratación es importante, para evitar la diuresis y mantener un estado de hidratación adecuado.

Está bien establecido que el contenido de sodio de una solución consumida tiene un papel importante en la rehidratación post-ejercicio. Shirreffs et al. [7] demostraron que una bebida que contenía sodio en una concentración de 100 mmol/L era más eficaz, en términos de mantener el balance de fluidos de todo el cuerpo, que bebidas que contenían 0, 25 o 50 mmol/L de sodio después del ejercicio, cuando se ingirió un volumen superior a la masa corporal perdida. Esto se debe a una menor producción de orina después de la ingestión de una bebida 100-mmol/L de sodio. Nose et al. [8] informaron que el consumo de agua sola después del ejercicio producía una rápida diuresis debido a una reducción rápida en la concentración de sodio y en la osmolalidad del plasma. Se ha demostrado que la composición de electrolitos de las bebidas ingeridas influye en la evolución y en la magnitud de los cambios que se producen luego del consumo en el volumen y en la composición de la sangre. Esto a su vez influirá en el deseo de beber y en la producción de orina, lo que tiene implicaciones para la rehidratación [9]. En dos de estos estudios [8,9], se utilizó la estrategia de rehidratación de beber libremente (*ad libitum*) y durante el ejercicio se consumió un volumen de bebida inferior a la pérdida de masa corporal. Estas investigaciones resaltan la importancia de evitar un aumento rápido en el volumen de plasma y la reducción correspondiente en la concentración de sodio y de la osmolalidad durante la rehidratación post-ejercicio, para asegurar que no se produce diuresis y que se maximiza la retención de los fluidos consumidos.

El efecto del contenido de carbohidratos de soluciones consumidas sobre la efectividad de una solución de rehidratación no ha sido examinado sistemáticamente, pero algunos investigadores han demostrado que soluciones de carbohidratos-electrolitos son soluciones de rehidratación más apropiadas que el agua en aquellos casos en se requiere una rápida rehidratación [10,11]. Durante estos estudios, se ingirió un volumen de bebida igual al de masa corporal perdida durante el ejercicio por lo que los sujetos habrían permanecido deshidratados durante todo el período de recuperación. En estos estudios no es posible separar cualquier efecto de los carbohidratos de los efectos de los electrolitos. El rol positivo potencial de los carbohidratos en la rehidratación post-ejercicio se basa, en parte, en las observaciones que la presencia en las bebidas de solutos transportados activamente, principalmente carbohidratos y sodio, en concentraciones bajas puede aumentar la tasa de captación de agua en el intestino delgado debido al co-transporte activo de solutos lo que produce una mayor velocidad de flujo de agua [12]. La captación de agua intestinal está regulada principalmente por los gradientes osmóticos, por lo que las soluciones hipertónicas pueden ser bebidas de rehidratación inadecuadas, en casos en que se requiere una rehidratación rápida [13], debido al movimiento neto de agua en el intestino delgado [14]. Evans et al. [15] informaron que el consumo de una solución de glucosa 10%, con una osmolalidad de  $565 \pm 5$  mOsm/kg, producía una reducción en el volumen plasmático. Esto sugiere que por lo menos parte del agua que pasa al intestino delgado después del consumo de una solución hipertónica proviene del espacio vascular.

Antes de alcanzar el intestino, los fluidos deben atravesar el estómago. La tasa de vaciamiento gástrico de los fluidos consumidos se determina principalmente por el volumen, osmolalidad y densidad de energía de los contenidos gástricos. Cuando el volumen es constante, la densidad de energía o concentración de carbohidratos en el caso de soluciones de carbohidratos, parece ser la consideración principal [16,17]. El consumo de una solución hipertónica energéticamente densa, reduce la tasa de vaciamiento gástrico y la absorción intestinal en comparación con las bebidas hipertónicas y puede ofrecer un retorno gradual a los niveles previos a la deshidratación. Esto puede ser beneficioso en lo que respecta a la rehidratación porque evitará grandes incrementos en el volumen de sangre y tenderá a limitar cualquier disminución en la concentración de sodio circulante, manteniendo así las concentraciones de vasopresina en el plasma y produciendo una menor pérdida de fluidos por orina.

Por lo tanto el objetivo de este estudio fue examinar si una solución hipertónica con elevado contenido de carbohidratos era una solución de carbohidratos eficaz después de la deshidratación inducida por el ejercicio. Planteamos la hipótesis que el consumo de soluciones hipertónicas con elevado contenido de carbohidratos sería eficaz para restaurar y mantener el balance neto de fluidos después de la deshidratación inducida por el ejercicio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

Seis hombres jóvenes saludables (Media  $\pm$  SD, edad  $26 \pm 5$  y talla  $173 \pm 6$  centímetros, masa corporal  $72,1 \pm 5,5$  kg y consumo de oxígeno máximo  $3,6 \pm 0,7$  L/min) participaron voluntariamente en esta investigación. El estudio contó con la aprobación previa del Comité de Ética de la Universidad de Loughborough (referencia n°. R06/P18). Todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito y completaron una encuesta de antecedentes médicos antes de participar en esta investigación.

Se realizaron dos pruebas preliminares antes de empezar los ensayos experimentales. En la primera prueba, el consumo de oxígeno máximo se midió mediante un test incremental discontinuo en bicicleta ergométrica para determinar la intensidad de ejercicio que se utilizaría para promover la pérdida de sudor. Durante la segunda prueba preliminar, los sujetos completaron los procedimientos de deshidratación y de rehidratación que utilizarían en las pruebas experimentales subsecuentes, las cuales se describen totalmente luego, pero eran libres de abandonar el laboratorio inmediatamente después del período de rehidratación.

Tres tratamientos experimentales se realizaron por cada sujeto y en cada tratamiento se consumió una solución con diferentes contenidos de carbohidratos y por lo tanto con diferente osmolalidad. Los tratamientos experimentales estaban separados por un período de por lo menos 7 días y se realizaron en el mismo lugar y en el mismo momento de la mañana después de un ayuno de toda la noche. Los sujetos realizaron actividad física similar y siguieron patrones nutricionales similares durante las 24 h previas a cada prueba experimental. Para esto, los sujetos completaron un registro de comidas y un diario de actividad durante las 24 h previas al primer tratamiento experimental y repitieron este registro en las 24 horas previas a los tratamientos experimentales subsiguientes. Se solicitó a los sujetos que consumieran 500 mL de agua aproximadamente 1 hora antes de ingresar al laboratorio en un esfuerzo por asegurar un nivel consistente del estado de hidratación.

Después de arribar al laboratorio, los sujetos se sentaron en un ambiente cómodo en posición erguida durante 15 minutos antes de que se les extrajera una muestra de sangre por punción venosa de la vena antecubital. Luego los sujetos orinaron hasta vaciar completamente la vejiga y se recolectó la muestra completa de orina. En todos los momentos en los que se recolectó la orina, se solicitó a los sujetos que intentaran vaciar la vejiga completamente. Se completó una encuesta de sentimientos subjetivos. En estas encuestas se solicitó a los sujetos que registraran sus sentimientos sobre si padecían sed, plenitud estomacal, hinchazón, hambre, cansancio, vigilancia, concentración y dolor de cabeza en una escala analógica visual de 10 centímetros, donde el punto correspondiente al 0 representaba "nada" y 10 centímetros representa "mucho."

Los sujetos fueron pesados desnudos en una balanza de peso digital con un nivel de apreciación de 10g (*Adam Equipment, Milton Keynes, Reino Unido*) antes de comenzar el protocolo de deshidratación que consistió en realizar ejercicio intermitente en una bicicleta ergométrica a una intensidad de consumo de oxígeno máximo de  $58 \pm 2\%$ , con una temperatura ambiente de  $35,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de  $59 \pm 2\%$ . Los sujetos realizaron ejercicio durante 10 min antes y luego descansaron durante 5 min, momento en el cual se midió la masa corporal de los sujetos desnudos, después de secarse tanto como pudieran, para determinar la magnitud de pérdida de masa corporal. La secuencia ejercicio/descanso fue repetida tanto como fuera necesario para inducir una pérdida de masa corporal de aproximadamente 2% de la masa inicial. Cuando los sujetos se acercaban a una pérdida del 2%, se interrumpía el ejercicio y se les proporcionaban 10 min para que se ducharan y secaran antes de registrar la última medición de masa corporal. Quince minutos después de completar el período de ejercicios, los sujetos se sentaron durante otros 15 min en un cuarto mantenido a  $23,8 \pm 0,6^\circ\text{C}$ , tiempo durante el cual se insertó una cánula de 21g en una vena superficial del antebrazo. Esta permaneció en ese lugar durante la prueba y se mantuvo abierta, llena con solución salina isotónica heparinizada, entre los momentos de recolección de las muestras. Después de este período de descanso en el cual permanecieron sentados y erguidos 15-min, es decir, 30 min después de haber finalizado el ejercicio, se tomaron muestras de sangre y de orina y completaron una encuesta de sentimientos subjetivos.

El volumen de la bebida a evaluar se administró en una cantidad que alcanzó el 150% de pérdida de masa corporal y fue proporcionada en cuatro alícuotas iguales durante un período de 60 min. Un sujeto no pudo beber el volumen requerido durante el primer tratamiento y por consiguiente bebió un equivalente a 130% de la pérdida de masa corporal durante todos los tratamientos. Las respuestas de este sujeto no fueron diferentes de las de los otros cinco sujetos, por lo que no fue excluido de los resultados. Las bebidas fueron calentadas a una temperatura de  $37 \pm 0^\circ\text{C}$  para evitar vasoconstricción periférica que puede producirse por consumir las soluciones frías [18], lo que influiría en los parámetros sanguíneos que se midieron. Las bebidas estaban saborizadas y contenían 0%, 2% o 10% de glucosa con sodio agregado. La composición de cada una de las soluciones se presenta en la Tabla 1. Después del período de rehidratación se obtuvieron muestras de sangre y de orina a 0, 1, 2, 3, 4 y 6 horas después de la rehidratación. También se completaron las encuestas de sentimientos subjetivos en los mismos momentos. Los sujetos permanecieron sentados erguidos durante 15 min antes de la

recolección de las muestras de sangre por lo que se evitaron los cambios en el volumen de sangre y plasma asociados a la postura previamente reportados [19,20]. Al finalizar el período de recuperación de 6 h se realizó una última medición de la masa corporal.

Tratamiento	Osmolalidad (mosm/kg)	Concentración de Na <sup>+</sup> (mmol/L)	Concentración de K <sup>+</sup> (mmol/L)	Concentración de Cl <sup>-</sup> (mmol/L)
0% de glucosa	79 ± 4	32 ± 1	0,5 ± 0,1	27 ± 2
2% de glucosa	193 ± 5	32 ± 1	0,4 ± 0,1	26 ± 3
10% de glucosa	667 ± 12	31 ± 0	0,4 ± 0,1	27 ± 2

**Tabla 1.** Composición de las soluciones de rehidratación utilizadas en el estudio presente. Las bebidas contenían agua destilada, glucosa, saborizante de limón y 25 mmol/L de NaCl. Los valores se presentan en forma de Media ± SD

El clearance de agua libre durante cada hora del período de recuperación fue calculado mediante la ecuación  $FWC = V (1 - U_{osm} / S_{osm})$  donde FWC, es el clearance de agua libre, V es la tasa de flujo urinario,  $U_{osm}$  es la osmolalidad de la orina y  $S_{osm}$  es la osmolalidad del suero.

### Análisis de las muestras

La concentración de hemoglobina de las muestras de sangre se analizó mediante el método de la cianometahemoglobina, el hematocrito se realizó por microcentrifugación y la concentración de glucosa por el método glucosa oxidasa-peroxidasa (GOD-PAP) (Randox, Crumlin, Reino Unido). Los valores de hemoglobina y del volumen de empaquetamiento celular fueron utilizados para estimar el porcentaje de cambios en la sangre, los glóbulos rojos y el volumen de plasma tal como lo describen Dill y Costill [21].

Un alícuota de sangre completa se centrifugó a 1500 X g durante 15 min a 4°C, luego el suero fue removido y fue guardado para el análisis de la osmolalidad a través de la disminución del punto de congelación (Gonotec Osmomat 030 Cryoscopic Osmometer; Gonotec, Berlín, Alemania), el análisis de las concentraciones de sodio y de potasio por fotometría de llama (Corning Clinical Flame Photometer 410C; Corning Ltd., Halstead, Essex, Reino Unido) y la determinación de concentración de cloro por titulación coulométrica (Jenway Chloride Meter; Jenway S.A, Dunmow, Essex, Reino Unido). Se registró el volumen total de orina producido en cada momento y se retuvo una muestra para el análisis de la osmolalidad y de las concentraciones de electrolitos utilizando los métodos descritos previamente.

Todos los análisis se realizaron por duplicado, con la excepción de las medidas del hematocrito que fueron realizadas por triplicado.

### Análisis estadístico

Mediante el test de Kolmogorov-Smirnov se comprobó que todos los datos tenían una distribución normal y, por consiguiente, se presentan en forma de media ± desviación estándar. Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza de mediciones repetidas de dos factores (ANOVA). Luego de realizar el ANOVA de una vía, para establecer donde se originaban las diferencias, se aplicaron como test post hoc, los test de comparaciones pareadas de Tukey o Dunnett. El nivel de significancia se fijó en  $P < 0,05$  y este nivel es el que tendremos en cuenta, a menos que se especifique otra cosa.

En los casos en donde se informan los resultados del ANOVA de una vía, se presenta un valor parcial  $\eta$ -cuadrado ( $\eta_p^2$ ) como un estimador del tamaño del efecto.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS 12,0 para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, EE.UU.).

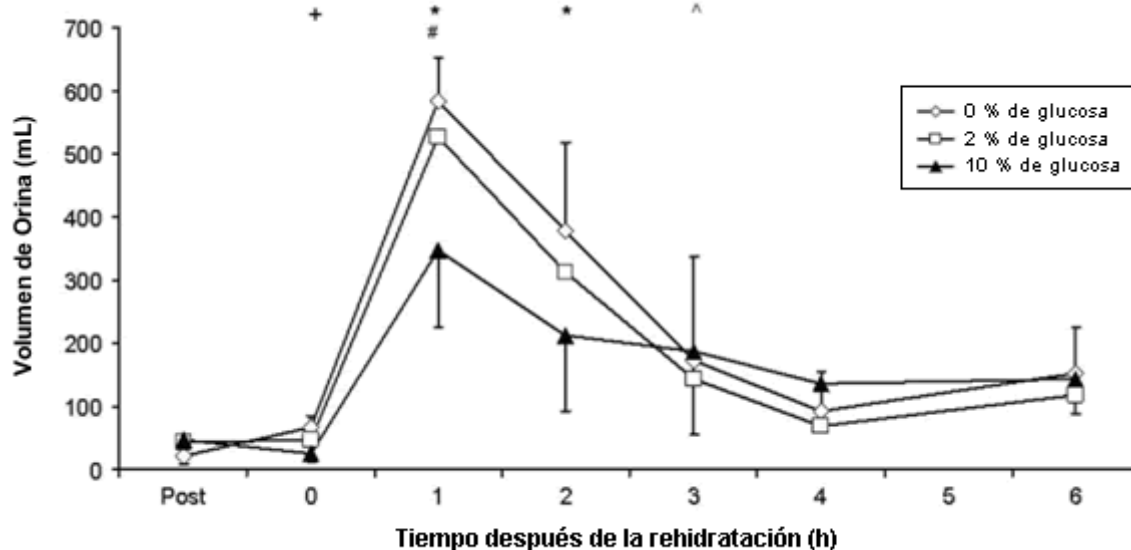
## RESULTADOS

La masa corporal pre-ejercicio de los sujetos fue la misma en todos los tratamientos ( $P = 0,992$ ,  $\eta_p^2 = 0,001$ ). La masa corporal perdida durante el ejercicio fue similar en todos los tratamientos ( $P = 0,994$ ,  $\eta_p^2 = 0,001$ ) y era igual a  $1,35 \pm 0,11$ ,

1,35 ± 0,18 y 1,34 ± 0,17 kg en los tratamientos con 0%, 2%, y 10% de glucosa, respectivamente, lo que equivale a una reducción en la masa corporal de 1,9 ± 0,1%. El tiempo medio de ejercicio necesario para alcanzar esta pérdida de masa fue 45 ± 8 min. Este tiempo no fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,785$ ,  $\eta_p^2=0,032$ ). Dado que la pérdida de masa corporal fue la misma en los tratamientos, el volumen de bebida también fue el mismo durante los tratamientos ( $P = 0,911$ ,  $\eta_p^2 = 0,012$ ) y fue 1962 ± 247 mL. La masa corporal al final del periodo de recuperación de 6-h no fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,999$ ,  $\eta_p^2 < 0,001$ ).

### Producción de orina y balance neto de fluidos

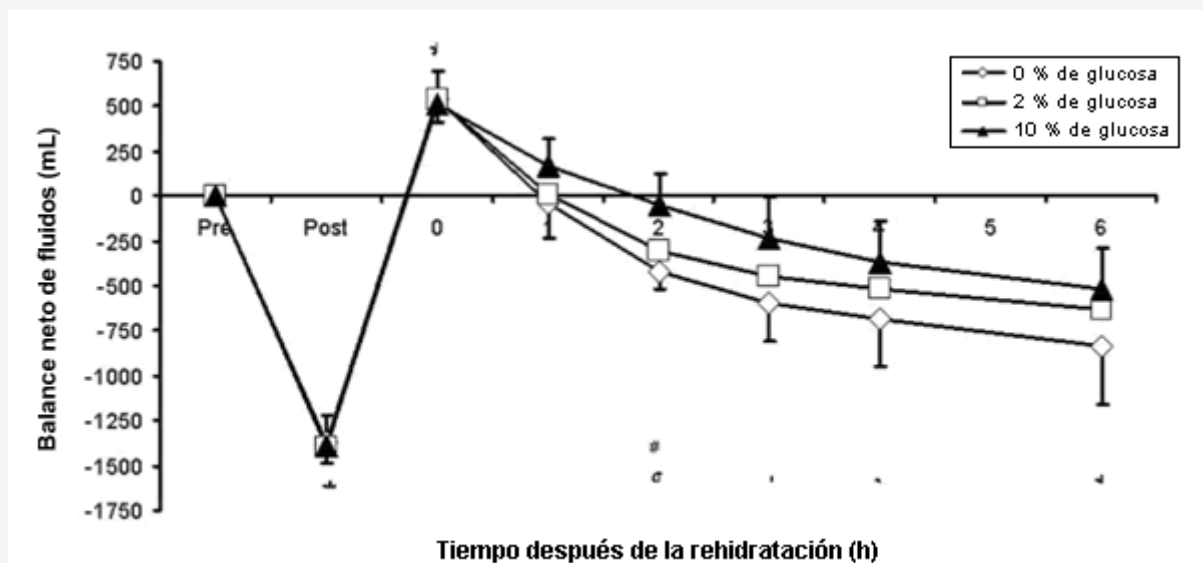
El volumen de orina excretado inmediatamente después del periodo de rehidratación (0 h) fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,001$ ,  $\eta_p^2=0,582$ ) y fue mayor en el tratamiento con 0% de glucosa que en el tratamiento con 10% de glucosa ( $P = 0,001$ ). La mayor producción de orina durante todos los tratamientos se produjo en la primera hora después del periodo de rehidratación (Figura 1). El volumen de orina en este momento fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,002$ ,  $\eta_p^2 = 0,557$ ). El análisis posterior demostró que el volumen de orina en este momento era similar en los tratamientos con 0% (585 ± 67 mL) y 2% (528 ± 101 mL) de glucosa ( $P = 0,594$ ), pero en el tratamientos con 10% (347 ± 121 mL) de glucosa era inferior al de los tratamientos con 0% ( $P = 0,002$ ) y 2% ( $P = 0,017$ ) de glucosa. El ANOVA de una vía arrojó un efecto general a lo largo del tiempo durante los tratamientos con 0% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,828$ ), 2% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,723$ ) y 10% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,600$ ) de glucosa. El volumen de orina excretado fue mayor que el volumen postejercicio 1 y 2 h después del periodo de rehidratación en todos los tratamientos y 3 h después del periodo de rehidratación en los tratamientos con 0% y 10% de glucosa. La producción total de orina durante el periodo de recuperación no fue diferente entre los tratamientos (Tabla 2).



**Figura 1.** Volumen de orina producido en cada momento. La muestra pre-ejercicio no se muestra. Los puntos representan valores de media ± SD. += El punto correspondiente al tratamiento con 0% glucosa es superior al del tratamiento con 10% de glucosa; #=puntos correspondientes a los tratamientos con 0% y 2% de glucosa son superiores a los puntos correspondientes al 10% de glucosa; \*=puntos correspondientes a los tratamientos con 0%, 2% y 10% de glucosa son superiores al valor Post; ^=puntos de los tratamientos con 0% y 10% de glucosa son superiores al valor Post. Post= Muestra obtenida luego del ejercicio; Pre= Muestra obtenida antes del ejercicio.

	0% de Glucosa	2% de Glucosa	10 % de Glucosa	ANOVA
Volumen total de bebida (mL)	1981±202	1979 ± 288	1926 ± 252	0,911
Producción total de orina (mL)	1447 ±332	1219 ± 430	1051 ± 235	0,165
Volumen retenido a las 6 h (mL)	534 ± 267	760 ± 214	875 ±184	0,053
Fracción retenida a las 6 h (%)	27 ±13	40 ± 14	46 ± 9	0,046

**Tabla 2.** Balance Fluidos. ANOVA= Análisis de la Varianza. Los valores de producción total de orina no incluyen la primera muestra recolectada luego del final del periodo de consumo de fluidos. El volumen retenido y la fracción retenida hacen referencia al volumen y la fracción respectivamente, de la bebida consumida que no fueron explicados por la pérdida de orina. Los valores se presentan en forma de Media ±SD.



**Figura 2.** Balance neto de fluidos durante todos los tratamientos. Los datos se expresan en forma de Media ±SD. #=los puntos del tratamiento con 10% fueron superiores a los puntos de los tratamientos con 0% y 2% de glucosa; \$=los puntos del tratamiento con 0% de glucosa fueron diferentes a los valores obtenidos Pre; += los puntos de los tratamientos con 0% y 2% de glucosa fueron diferentes a los valores obtenidos Pre; \*= los puntos de los tratamientos con 0%, 2% y 10% de glucosa fueron diferentes a los valores Pre. Post= Muestra obtenida luego del ejercicio; Pre= Muestra obtenida antes del ejercicio.

El balance neto de fluidos (Figura 2) se calculó utilizando datos de la pérdida de sudor, el volumen de bebida ingerido y producción de orina. Para éste propósito se asumió que toda la pérdida de masa producida durante el ejercicio fue en forma de agua y el agua formada por la oxidación de sustrato fue ignorada [22]. El ANOVA de una vía demostró un efecto general con el tiempo durante los tratamientos con 0% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,909$ ), 2% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,842$ ) y 10% ( $P < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,908$ ) de glucosa. Los sujetos presentaron un equilibrio de fluidos negativo después del protocolo de deshidratación. Todos los sujetos bebieron lo suficiente para alcanzar un balance de fluidos positivo al final del período de rehidratación en caso de que todo el fluido ingerido se hubiera asimilado para ese momento en la reserva de agua del cuerpo. Sin embargo, es probable que algo del fluido consumido todavía se encontrara en el estómago o en el lumen intestinal y este volumen probablemente habría sido diferente en los diferentes tratamientos. Dos horas después del período de rehidratación, los sujetos tenían un mayor balance neto de fluidos en el tratamiento con 10% de glucosa que en los tratamientos con 0% y 2% de glucosa. Durante el tratamiento con 0% de glucosa, los sujetos regresaron a un estado de balance de fluidos negativo 2 horas después de la rehidratación. Durante el tratamiento con 2% de glucosa, los sujetos regresaron a un balance de fluidos neto negativo 3 horas después de la rehidratación. Los sujetos permanecieron euhydratados durante 1 hora más en el tratamiento con 10% de glucosa que en el tratamiento de 2% de glucosa, es decir, retornaron al balance de fluidos negativos 4 h después de la rehidratación.

El porcentaje de bebida consumida que fue retenido se calculó con los datos del volumen de bebida y de producción de orina. Ni el volumen de bebida ni la producción de orina acumulada fueron significativamente diferentes entre los

tratamientos, pero, 6 h después de la fase de rehidratación,  $27 \pm 13\%$ ,  $40 \pm 14\%$ , y  $46 \pm 9\%$  de la solución ingerida había sido retenida en los tratamientos de 0%, 2% y 10% de glucosa, respectivamente (Tabla 2;  $P = 0,046$ ,  $\eta_p^2 = 0,337$ ). La fracción del volumen de bebida ingerido que se retuvo en el tratamiento con 0% de glucosa fue menor ( $P = 0,04$ ) que la del tratamiento con 10% de glucosa.

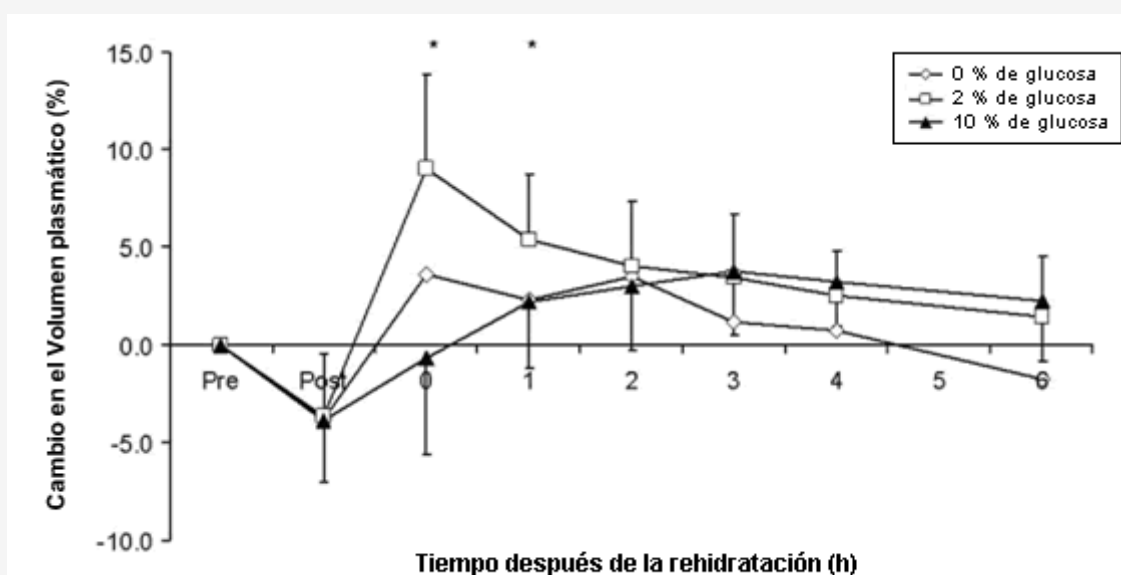
### Composición de electrolitos y osmolalidad de la orina

Las cantidades de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  consumidas fueron similares durante todos los tratamientos y fueron  $62 \pm 7$  mmol ( $P = 0,640$ ,  $\eta_p^2 = 0,058$ ),  $0,9 \pm 0,2$  mmol ( $P = 0,131$ ,  $\eta_p^2 = 0,237$ ), y  $53 \pm 9$  mmol ( $P = 0,906$ ,  $\eta_p^2 = 0,013$ ), respectivamente. La excreción urinaria total de estos electrolitos después del ejercicio no fue diferente entre los tratamientos y los niveles fueron  $55,8 \pm 17,0$  mmol ( $P = 0,142$ ,  $\eta_p^2 = 0,229$ ),  $47,3 \pm 14,0$  mmol ( $P = 0,306$ ,  $\eta_p^2 = 0,146$ ) y  $45,7 \pm 13,6$  mmol ( $P = 0,131$ ,  $\eta_p^2 = 0,237$ ) para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , respectivamente.

La osmolalidad de la orina pre-ejercicio no fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,984$ ,  $\eta_p^2 = 0,002$ ) y los niveles fueron  $504 \pm 169$ ,  $528 \pm 294$  y  $521 \pm 244$  mOsm/kg en los tratamientos con 0%, 2% y 10% de glucosa respectivamente. El cambio con el tiempo en la osmolalidad de la orina fue el mismo en todos los tratamientos.

### Mediciones efectuadas en la sangre y en el suero

Los volúmenes de sangre ( $P = 0,005$ ) y plasma ( $P < 0,001$ ) aumentaron significativamente un  $4,6 \pm 3,7\%$  y  $9,0 \pm 4,9\%$  respectivamente, con respecto a los valores pre-ejercicio, al final del período de rehidratación en el tratamiento con 2% de glucosa (Figura 3). El volumen plasmático se mantuvo elevado en el tratamiento con 2% de glucosa 1 hora después de la rehidratación ( $P = 0,031$ ) pero no se observaron diferencias con la línea de base en ningún momento en los tratamientos con 0% y 10% de glucosa.



**Figura 3.** Porcentaje de cambio estimado en el volumen plasmático cuando se considera como valor de la línea de base al valor pre-ejercicio. Los puntos representan valores de Media  $\pm$  SD.\*=Punto en el cual el valor obtenido en el tratamiento con 2% de glucosa es superior al valor obtenido Pre-ejercicio.

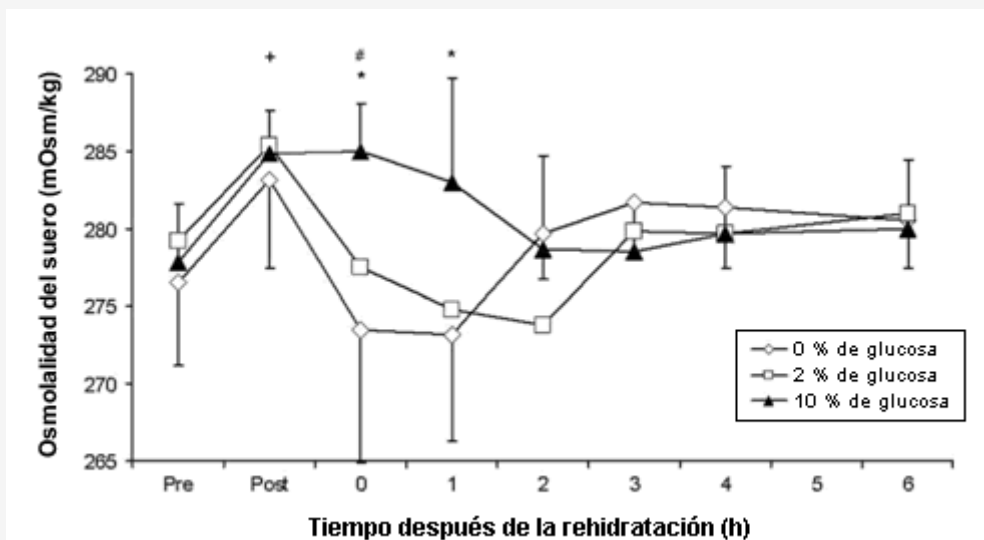
La concentración de glucosa sanguínea pre-ejercicio no fue diferente entre los tratamientos ( $P = 0,835$ ,  $\eta_p^2 = 0,024$ ) y los niveles eran  $5,0 \pm 0,6$ ,  $5,1 \pm 0,5$  y  $5,2 \pm 0,5$  mmol/L en los tratamientos con soluciones 0%, 2% y 10% de glucosa, respectivamente. Después del consumo de las bebidas, la concentración de glucosa en la sangre se elevó significativamente con respecto a los valores pre-ejercicio al final del período de rehidratación de 1 hora ( $7,9 \pm 0,6$  mmol/L) después de ingerir la solución de glucosa 2% e inmediatamente después ( $9,6 \pm 1,1$  mmol/L) y 1 h después de haber consumido la solución con 10% de glucosa ( $7,7 \pm 1,0$  mmol/L). Al final del período de rehidratación y 1 h después de la rehidratación, la concentración de glucosa sanguínea fue mayor en el tratamiento con 10% de glucosa que en los tratamientos con 0 y 2% de glucosa. La concentración de glucosa sanguínea fue mayor en el tratamiento con 2% de

glucosa que en el tratamiento con 0% de glucosa al final del período de rehidratación. Dos horas después del período de rehidratación, la concentración de glucosa sanguínea fue más baja en el tratamiento con 2% de glucosa que en el tratamiento con 10% de glucosa.

Los valores de la osmolalidad sérica pre-ejercicio fueron  $277 \pm 5$ ,  $279 \pm 3$ , y  $278 \pm 4$  mOsm/kg en los tratamientos con 0%, 2% y 10% de glucosa, respectivamente ( $P = 0,537$ ,  $\eta_p^2=0,079$ ; Figura 4). Esto aumentó a  $283 \pm 6$ ,  $285 \pm 3$ , y  $285 \pm 3$  mOsm/kg en los tratamientos con 0%, 2% y 10% de glucosa, respectivamente, pero este cambio sólo fue significativo en el tratamiento con 2% de glucosa ( $P = 0,042$ ). Inmediatamente después de la rehidratación, la osmolalidad del suero aumentó con respecto a los valores de la línea de base en el tratamiento con 10% de glucosa ( $\eta_p^2=0,045$ ). La osmolalidad sérica fue mayor en el tratamiento con 10% de glucosa que en el tratamiento con 0% de glucosa 0 y 1 hora después de la rehidratación. No se observó ninguna diferencia significativa entre los tratamientos en las medidas de los electrolitos séricos.

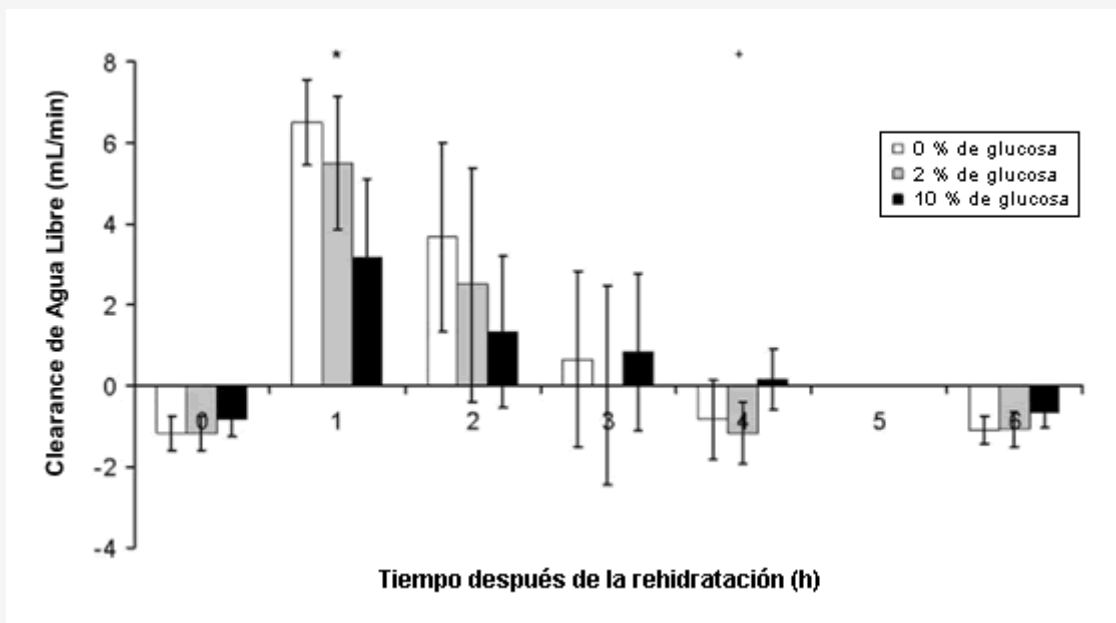
### Clearance de agua libre

Una hora después de la rehidratación, el clearance de agua libre fue mayor ( $P = 0,006$ ) durante el tratamiento con 0% de glucosa que durante el tratamiento con 10% de glucosa y presentó una tendencia ( $P = 0,055$ ) a ser mayor en el tratamiento con 2% de glucosa que en el tratamiento con 10% de glucosa (Figura 5). Cuatro horas después de la rehidratación, el clearance de agua libre fue mayor ( $P = 0,037$ ) en el tratamiento con 10% de glucosa que en el tratamiento con 2% de glucosa.



**Figura 4.** Cambios en la osmolalidad del suero. Los valores se presentan en forma de Media  $\pm$  SD. +=los puntos del tratamiento con 2% de glucosa son mayores a los puntos obtenidos antes del ejercicio (Pre); #= puntos del tratamiento con 10% de glucosa son superiores a los obtenidos Pre; \*=los puntos del tratamiento con 10% de glucosa son superiores a los del tratamiento con 0% de glucosa.

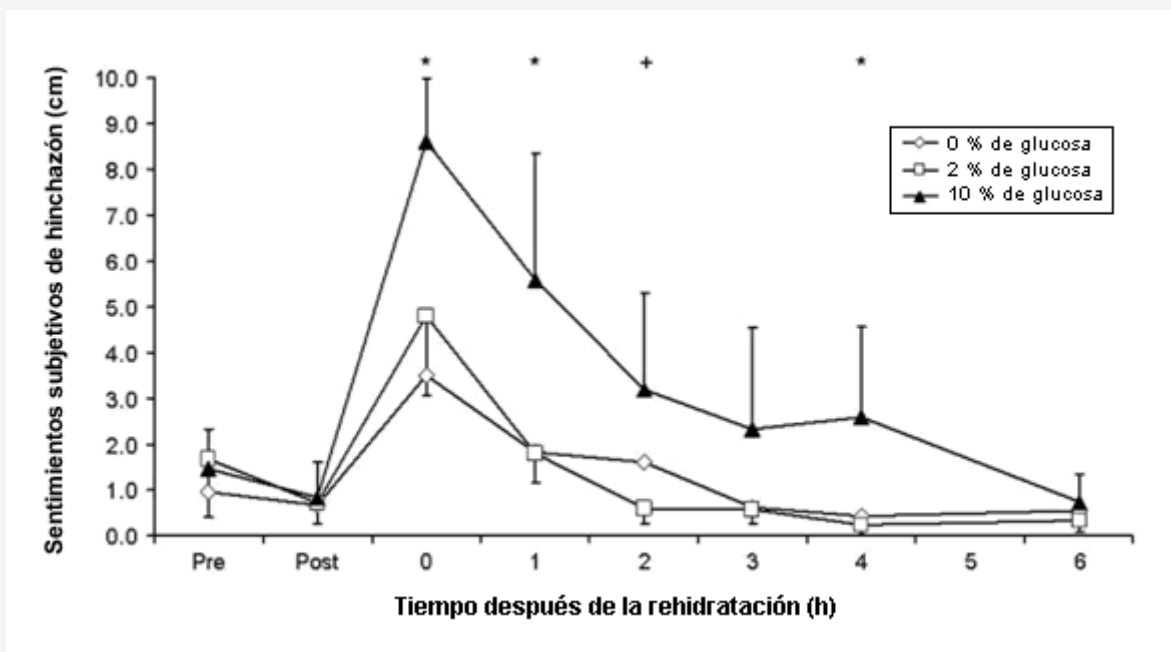




**Figura 5.** Clearance de agua libre durante cada una de las horas del periodo de recuperación los datos se presentan en forma de Media  $\pm$  SD. \*= Los puntos del tratamiento con 0% son mayores a los puntos con 10% de glucosa; += Los puntos del tratamiento con 10% de glucosa son mayores a los del tratamiento con 2% de glucosa.

### Encuestas de sentimientos subjetivos

Los sujetos informaron un sentimiento mayor de plenitud estomacal en el tratamiento con 10% de glucosa en comparación con el tratamiento con 0% de glucosa en el tiempo 0 y 1 h después del fin del periodo de rehidratación y un sentimiento mayor de hinchazón en el tratamiento con 10% de glucosa en comparación con los tratamientos con 0% y 2% de glucosa en los tiempos 0, 1 y 4 horas después del fin del periodo de rehidratación. Los sujetos informaron un sentimiento mayor de hinchazón 2 horas después de beber la solución de glucosa 10% en comparación con la solución de glucosa al 2% (Figura 6).



**Figura 6.** Sentimientos subjetivos de hinchazón reportados por los sujetos. Los datos se expresan en forma de Media  $\pm$  SD. \*= Los valores de los puntos de la solución de 10% de glucosa son superiores a los valores de las soluciones con 0% y 2% de glucosa; += Los

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio sugieren que el consumo de una solución hipertónica de glucosa y electrolitos con una osmolalidad de  $667 \pm 12$  mOsm/kg puede ser más eficaz para promover y mantener la rehidratación post-ejercicio que el consumo del mismo volumen de soluciones más diluidas con el mismo contenido de electrolitos, cuando se ingiere un volumen de 150% (130-150) de la masa corporal perdida a lo largo de un período de 1 hora. Después de una deshidratación inducida por el ejercicio de aproximadamente 2% de la masa corporal los sujetos retuvieron una cantidad de volumen ingerido significativamente mayor durante el tratamiento con 10% de glucosa que durante el tratamiento con 0% de glucosa y permanecieron euhydratados durante 1 hora más en el tratamiento con 10% de glucosa que en el tratamiento con 2 % de glucosa.

Los estudios previos han demostrado que la perfusión del intestino delgado humano, con las soluciones hipotónicas de carbohidratos electrolitos provoca un aumento rápido en el volumen de plasma [23,24] debido al co-transporte activo de carbohidratos y sodio lo que produce un mayor consumo de agua [12]. El estudio presente apoya estas observaciones, porque el volumen del plasma se incrementó en un  $9,0 \pm 4,9$  % en comparación con el valor inmediatamente pre-ejercicio, después de las fases de rehidratación en el tratamiento con solución de 2% de glucosa. En contraste, el consumo del mismo volumen de una solución de glucosa con 0% o 10% de glucosa no provocó ningún cambio significativo en los volúmenes de sangre o de plasma. Las soluciones hipertónicas provocan una secreción neta transitoria de agua hacia el interior del intestino delgado debido al gradiente osmótico que se establece después del consumo de estas soluciones [14], y esto tiene causa una reducción en el volumen de plasma y fluidos extracelulares [15]. Si las bebidas ingeridas no contienen sodio o lo contienen sólo en concentraciones bajas, éste también será secretado en la parte superior del intestino delgado hasta que se establezca un equilibrio [13]. Por estas razones, se ha sugerido que las soluciones hipotónicas con concentraciones de sodio ligeramente altas son la opción más eficaz cuando se necesita una recuperación de fluidos rápida y completa, y es probable que las soluciones hipertónicas y libres de electrolitos sean las soluciones de rehidratación menos eficaces [13].

El estudio presente sugiere que las soluciones hipertónicas densas de energía, pueden ser eficaces para la recuperación de la pérdida de agua inducida por el sudor y para mantener el estado de hidratación porque los sujetos continuaban euhydratados durante un período más largo, después de la ingestión de una solución con 10% de glucosa en comparación con una solución hipotónica con 2% de glucosa o una solución libre de glucosa. La rápida aparición de fluidos ingeridos en el plasma puede ser contraproducente cuando existe la necesidad de recuperar las pérdidas de fluidos. La producción de orina, fue mayor, aunque no significativamente, durante el tratamiento con 2% de glucosa que durante el tratamiento con 10% de glucosa en cinco de los seis sujetos que participaron en este estudio, quizás debido a los cambios en las concentraciones circulantes de arginina vasopresina (AVP). Aunque en el estudio presente los niveles de AVP circulantes no fueron medidos, el cálculo del clearance de agua libre proporciona una buena estimación de la respuesta de AVP [25]. Los datos del clearance de agua libre presentados sugieren que la magnitud de secreción de AVP fue diferente entre los tratamientos, lo que produjo una retención de agua mayor en las primeras horas de recuperación.

La liberación de arginina vasopresina está influenciada por la osmolalidad del plasma y en menor grado, por el volumen de sangre. El análisis de regresión lineal sugirió que las concentraciones circulantes de vasopresina presentaron una fluctuación de 0,41 pmol/L por unidad de cambio en la osmolalidad plasmática, pero que se necesita una disminución en el volumen de sangre de 8-10% para estimular la liberación de AVP [26]. Parecería que cualquier diferencia en la concentración de AVP circulante en el estudio presente se debe probablemente a las diferencias en la osmolalidad del suero observada entre los tratamientos y no a cambios en el volumen de sangre.

En la actualidad se acepta que para regresar a un estado de euhidratación es necesario permitir pérdidas de agua obligatorias continuas ingiriendo un volumen mayor que el de la pérdida de masa corporal tal como lo describen Shirreffs et al. [6]. Generalmente también se acepta que, siempre que se consuma una cantidad apropiada de fluidos, la ingesta de sodio tiene un papel fundamental para restablecer la homeostasis de fluidos [7,9,27]. La importancia del consumo de sodio radica en que es el principal ion que se pierde en el sudor y de su rol para mantener las concentraciones plasmáticas de vasopresina y aldosterona, de modo que no se produzca diuresis debido a las reducciones abruptas en la osmolalidad del plasma y a aumentos en el volumen plasmático [9]. La cantidad de sodio que se requerirá variará entre los individuos incluso cuando el volumen de la pérdida de sudor sea constante, debido a la gran variación interindividual en la concentración de sodio del sudor [4]. Shirreffs et al. [7] proporcionaron a los sujetos de su estudio bebidas que contenían 0, 25, 50 o 100 mmol/L de sodio en un volumen igual a 150% de la pérdida por sudor después de una deshidratación inducida por el ejercicio de aproximadamente 2% de la masa corporal. La concentración de sodio medida en el sudor fue

49 ± 19 mmol/L, y la pérdida total por el sudor (64 ± 39 mmol) durante el período de ejercicios fue mayor que la ingerida en los tratamientos con 0 y 25. La producción de orina a lo largo del período de 6 horas de recuperación se relacionó inversamente con la cantidad de sodio ingerida. Los sujetos presentaron un balance de sodio negativo en el cuerpo entero en los tratamientos 0 (104 ± 48 mmol) y 25 (65 ± 30 mmol) y esencialmente en el balance en el tratamiento con 50 (13 ± 29 mmol), pero mostraron un balance de sodio positivo en el tratamiento con 100 (75 ± 40 mmol). Sólo en el tratamiento con 100 los sujetos tuvieron un balance de fluidos positivo al final del período de muestreo post-hidratación de 6 horas. Los resultados del estudio presente sugieren que el contenido de carbohidratos y la osmolalidad de las bebidas ingeridas también desempeñan un rol importante en la recuperación del balance de fluidos después de la deshidratación inducida por el ejercicio. Dado que los sujetos presentaban un balance de fluidos negativo antes del fin de todos los tratamientos, parecería que la cantidad de sodio ingerida sigue siendo la principal consideración al formular las soluciones de rehidratación.

Las recomendaciones actuales de terapia de rehidratación oral sugieren que es necesario consumir soluciones hipotónicas de carbohidratos y electrólitos cuando hay una necesidad rápida de recuperar los fluidos [13,28], pero si el objetivo del consumo de fluidos es mantener el equilibrio de los fluidos por un período prolongado, entonces el consumo de soluciones hipotónicas de carbohidratos electrólitos puede ser inapropiada debido a las diferencias en la producción de orina que han sido observadas en el estudio presente. A partir de los resultados del estudio presente no podemos afirmar que la ausencia de grandes fluctuaciones en la osmolalidad del suero y en el volumen del plasma observadas después de la ingestión de una solución con 10% de glucosa se deba a una menor tasa de liberación de fluidos al intestino delgado [16,17] o debido a una menor velocidad de absorción de fluidos en el intestino.

Dado que la intensidad del ejercicio y el tiempo necesario para alcanzar la pérdida de masa fueron iguales durante todos los tratamientos, la reducción en el volumen de glucógeno muscular probablemente haya sido similar en cada uno de estos tratamientos. Una estimación bruta sugeriría que 45 min de ejercicio a un costo de oxígeno de aproximadamente 2,2 L/min, asumiendo una contribución del 50% del glucógeno muscular con el metabolismo oxidativo, producirían un consumo de aproximadamente 60-70g de glucógeno. El volumen medio de fluidos ingeridos después del ejercicio fue aproximadamente 2 L lo que proporcionaría 40 g de carbohidratos en el tratamiento de 2% y 200 g de carbohidratos en el tratamiento con 10%. Asumiendo una restauración completa del glucógeno muscular en el tratamiento con 10%, la cantidad de agua almacenada en el músculo junto con este glucógeno sería aproximadamente 60-200 mL; esto depende del valor aceptado para el almacenamiento de glucógeno en asociación con el agua, pero probablemente estaría mas cerca del final de este rango [22]. Esto podría haber tenido alguna contribución con el éxito de la solución con 10% de glucosa para mantener el balance de fluidos.

Los resultados del estudio presente sugieren que las soluciones hipertónicas de glucosa y electrólitos son soluciones de rehidratación eficaces, pero éste no sería el caso cuando se permite la ingesta de fluidos *ad libitum*. Cuando consumieron la solución de glucosa 10%, los sujetos informaron una sensación mayor de plenitud estomacal y se sintieron más hinchados después del período de rehidratación en comparación con las soluciones con 0% y 2% de glucosa. En la práctica, cuando el consumo de fluidos es a voluntad (*ad libitum*), esto puede producir una interrupción del consumo de fluidos antes de que se alcance un balance de fluidos positivo, e impedir el proceso de rehidratación. La selección de bebidas de rehidratación también puede estar influenciada por la duración del período de recuperación. Cuando se dispone de períodos largos, el agua y los alimentos ingeridos en cantidades suficientes, asegurarán una rehidratación completa [29].

## CONCLUSIONES

---

Los resultados de este estudio demostraron que una solución hipertónica con 10% de glucosa y electrólitos con una osmolalidad de 667 ± 12 mOsm/kg, fue más eficaz para mantener un estado de euhidratación después de la deshidratación inducida por el ejercicio de 1,9 ± 0,1% de la masa corporal que una solución con 2% de glucosa con una osmolalidad de 193 ± 5 mOsm/kg y una solución con 0% de glucosa con una osmolalidad de 79 ± 4 mOsm/kg. El contenido de carbohidratos y la osmolalidad de las soluciones consumidas son consideraciones importantes en el período postejercicio.

## REFERENCIAS

---

1. Astrand P-O, Saltin B (1964). Plasma and red cell volume after prolonged se-vere exercise. *J Appl Physiol*; 19:829-32
2. Saltin B (1964). Circulatory response to submaximal and maximal exercise af-ter thermal dehydration. *J Appl Physiol*; 19:1125-32

3. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol*; 82:1229-36
4. Maughan RJ, Watson P, Evans GH, Broad N, Shirreffs SM (2007). Water balance and salt losses in competitive football. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*; 17:583-94
5. Mitchell JB, Grandjean PW, Pizza FX, Starling RD, Holtz RW (1994). The effect of volume ingested on rehydration and gastric emptying following exercise-induced dehydration. *Med Sci Sports Exerc*; 26:1135-43
6. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB, Maughan RJ (1996). Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc*; 28:1260-71
7. Shirreffs SM, Maughan RJ (1998). Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses. *Am J Physiol Renal Physiol*; 274:F868-75
8. Nose H, Mack GW, Shi XR, Nadel ER (1988). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol*; 65:325-31
9. Nose H, Mack GW, Shi XR, Nadel ER (1988). Involvement of sodium retention hormones during rehydration in humans. *J Appl Physiol*; 65:332-6
10. Costill DL, Sparks KE (1973). Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *J Appl Physiol*; 34:299-303
11. Gonzalez-Alonso J, Heaps CL, Coyle EF (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int J Sports Med*; 13:399-406
12. Schedl HP, Clifton JA (1963). Solute and water absorption by the human small intestine. *Nature*; 199:1264-7
13. Leiper JB (1998). Intestinal water absorption—implications for the formulation of rehydration solutions. *Int J Sport Med*; 19(Suppl 2):S129-32
14. Leiper JB, Maughan RJ (1986). Absorption of water and electrolytes from hypotonic, isotonic and hypertonic solutions (Abstract). *J Physiol*; 373:90P
15. Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ (2009). Acute effects of ingesting glucose solutions on blood and plasma volume. *Br J Nutr (in press)*
16. Vist GE, Maughan RJ (1994). Gastric emptying of ingested solutions in man: effect of beverage glucose concentration. *Med Sci Sports Exerc*; 26:1269-73
17. Vist GE, Maughan RJ (1995). The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *J Physiol*; 486:523-31
18. Imms FJ, Lighten AD (1989). The cooling effects of a cold drink. In: Mercer JB, editor. *Thermal physiology*. New York: Elsevier Sciences; p. 135-9
19. Hagan RD, Diaz FJ, Horvath SM (1978). Plasma volume changes with movement to supine and standing positions. *J Appl Physiol*; 45:414-7
20. Shirreffs SM, Maughan RJ (1994). The effect of posture change on blood volume, serum potassium and whole body electrical impedance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 69:461-3
21. Dill DB, Costill DL (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol*; 37:247-8
22. Maughan RJ, Shirreffs SM, Leiper JB (2007). Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J Sports Sci*; 25:797-804
23. Gisolfi CV, Summers RW, Schedl HP, Bleiler TL (1992). Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans. *J Appl Physiol*; 73:2142-50
24. Shi X, Summers RW, Schedl HP, Chang RT, Lambert GP, Gisolfi CV (1994). Effects of solution osmolality on absorption of select fluid replacement solutions in human duodenojejunum. *J Appl Physiol*; 77:1178-84
25. Eisenhofer G, Johnson RH (1982). Effect of ethanol ingestion on plasma vasopressin and water balance in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*; 242:R522-7
26. Baylis PH (1987). Osmoregulation and control of vasopressin secretion in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*; 253:R671-8
27. Maughan RJ, Owen JH, Shirreffs SM, Leiper JB (1994). Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 69:209-15
28. Farthing MJ (2002). Oral rehydration: an evolving solution. *J Pediatr Gastro-enterol Nutr*; 34:S64-7
29. Maughan RJ, Leiper JB, Shirreffs SM (1996). Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of food and fluid intake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 73:317-2

## Cita Original

Gethin H. Evans, Susan M. Shirreffs, y Ronald J. Maughan. Postexercise rehydration in man: The effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition* 25 905-913.(2009)