

Article

La Ingestión de Fluidos y Carbohidratos Mejora Independientemente el Rendimiento durante 1 h de Ejercicio Intenso

Fluid and Carbohydrate Ingestion Independently Improve Performance During 1 h of Intense Exercise

Edward F Coyle, Ricardo Mora Rodriguez, Paul R Below y José González Alonso

Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology and Health Education, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.

RESUMEN

En este trabajo se determinaron los efectos de la ingestión de fluidos y carbohidratos sobre el rendimiento, la temperatura central y las respuestas cardiovasculares durante un ejercicio intenso de 1 h de duración. En cuatro ocasiones, ocho ciclistas pedalearon al 80 ± 1 % (\pm Error estándar de la media) del VO_2 máx. durante 50 min, y luego realizaron un test de rendimiento. Durante el ejercicio, los sujetos consumieron ya sea un gran volumen (1330 ± 60 mL) de una solución de carbohidratos al 6% (79 ± 4 g) o agua, o un volumen pequeño (200 ± 10 mL) de una solución de maltodextrina al 40% (79 ± 4 g) o agua. Se compararon las pruebas, de modo que pudiera ser determinado el efecto de la restitución de fluidos (RF) (RF grande vs. RF pequeña) y la ingestión de CHO (CHO vs. sin CHO). Los tiempos de rendimiento fueron 6,5% más rápidos durante la condición RF grande respecto a RF pequeña y 6,3% más rápidos durante la condición CHO respecto a la sin CHO ($p < 0,05$). En el minuto 50, la frecuencia cardiaca fue 4 ± 1 lat.min⁻¹ menor y la temperatura esofágica fue $0,33 \pm 0,04$ °C menor durante la condición FR grande respecto a la FR pequeña, pero no hubo diferencias entre las condiciones CHO y sin CHO. En conclusión, una RF grande atenúa ligeramente el incremento en la frecuencia cardiaca y la temperatura central, lo cual ocurre durante la RF pequeña. Tanto los fluidos como los carbohidratos mejoran por igual el rendimiento en el ciclismo y sus efectos son aditivos.

Palabras Clave: deshidratación, hipertermia, rendimiento físico, cardiovascular, volumen plasmático

ABSTRACT

This study determined the effects of fluid and carbohydrate ingestion on performance, core temperature, and cardiovascular responses during intense exercise lasting 1 h. On four occasions, eight men cycled at 80 ± 1 % (\pm SEM) of VO_2 max for 50 min followed by a performance test. During exercise, they consumed either a large volume (1330 ± 60 ml) of a 6% carbohydrate (79 ± 4 g) solution or water or a small volume (200 ± 10 ml) of a 40% maltodextrin (79 ± 4 g) solution or water. These trials were pooled so the effects of fluid replacement (Large FR vs Small FR) and carbohydrate ingestion (CHO vs NO CHO) could be determined. Performance times were 6.5% faster during Large FR than Small FR and 6.3%

faster during CHO than NO CHO ($P < 0.05$). At 50 min, heart rate was 4 ± 1 b.min⁻¹ lower and esophageal temperature was 0.33 ± 0.04 °C lower during Large FR than Small FR ($P < 0.05$) but no differences occurred between CHO and NO CHO. In summary, Large FR slightly attenuates the increase in heart rate and core temperature which occurs during Small FR. Both fluid and carbohydrate ingestion equally improve cycling performance and their effects are additive

Keywords: dehydration, hyperthermia, physical performance, cardiovascular, plasma volume

INTRODUCCION

Durante el ejercicio de ciclismo de intensidad moderada [i.e., 60-75% del máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.)] que dure ≥ 2 h, numerosos estudios han demostrado que la ingestión de carbohidratos mejora el rendimiento y retrasa la fatiga [5, 6, 21, 33]. Del mismo modo, diferentes estudios han reportado que la restitución de fluidos puede también retrasar la fatiga, ya sea cuando se camina [28], se pedalea [31], o se suben escalones [18] durante varias horas a baja intensidad (40-55 % del VO_2 máx.). Además, hay cierta evidencia que indica que la restitución de fluidos puede ser beneficiosa para el rendimiento de ciclismo de más de 4 h [1].

Muy pocos estudios han sido conducidos para determinar la influencia de ya sea la ingestión de carbohidratos o la restitución de fluidos sobre el rendimiento durante el ejercicio de corta duración (i.e., ≤ 1 h), y alta intensidad (i.e., $\geq 80\%$ del VO_2 máx.). Esta falta de información es desafortunada, ya que muchos eventos competitivos atléticos se completan bajo estas condiciones de ejercicio. Este estudio fue conducido para determinar si la ingesta de carbohidratos y/o la restitución de fluidos (con niveles de electrolitos mantenidos constantes) pueden mejorar el rendimiento durante un ejercicio de alta intensidad que dura aproximadamente 1 h.

Este estudio fue también conducido para determinar los efectos individuales y combinados de la restitución de fluidos y la ingestión de carbohidratos sobre el rendimiento. Ninguna investigación ha evaluado sistemáticamente los efectos de ambos factores en el mismo estudio. En la mayor parte de los estudios acerca de la alimentación con carbohidratos, los mismos son consumidos como una solución oral y sus efectos son comparados a los de un placebo con agua [5]. Aunque este diseño evalúa los efectos de los carbohidratos cuando el fluido está presente, no diferencia los beneficios del reemplazo de fluidos per se o de los carbohidratos solos (i.e., sin fluidos) en comparación a nada. Cuando se ingiere una bebida con carbohidratos y electrolitos durante el ejercicio en comparación a no ingerir nada, no se sabe cuanto del beneficio sobre el rendimiento proviene de los carbohidratos en la bebida y cuanto es derivado del fluido. Además, no se sabe si la combinación de la ingestión de carbohidratos y la restitución de fluidos tiene un efecto aditivo o sinérgico sobre el rendimiento.

Además, este estudio fue conducido para evaluar la influencia de la ingestión de carbohidratos y la restitución de fluidos (con los electrolitos mantenidos constantes) sobre la función cardiovascular y la termorregulación durante el ejercicio de alta intensidad ($\sim 80\%$ del VO_2 máx.) y corta duración (< 1 h). Mientras que diferentes investigaciones han reportado un efecto benéfico de la restitución de fluidos sobre la atenuación de la hipertermia y el *drift* cardiovascular durante el ejercicio prolongado (≥ 2 h) de moderada intensidad [1, 4, 8, 14, 15, 16, 22, 23], para nuestro conocimiento, ninguna investigación ha determinado la influencia de la restitución de fluidos a intensidades de ejercicio elevadas ($\geq 80\%$ del VO_2 máx. durante aproximadamente 1 h).

Para evaluar los efectos individuales y combinados de la ingestión de carbohidratos y el reemplazo de fluidos, este estudio evaluó a los sujetos después de que consumieran ya sea carbohidratos (79 g) en un volumen de fluido muy pequeño (200 mL), un gran volumen de fluido (para contrarrestar la deshidratación, 1330 mL), una combinación de tanto carbohidratos con un volumen grande de fluidos (79 g de carbohidratos en 1330 mL de fluidos), o nada (una prueba placebo con 200 mL). Fue usado un diseño con análisis de varianza a dos vías (ANOVA), para evaluar los efectos independientes de la ingestión de carbohidratos y la restitución de fluidos y para evaluar la interacción potencial entre ellos.

METODOS

Sujetos

Ocho hombres entrenados en resistencia completaron este estudio. Su edad, peso, talla y VO_2 máx. promedio fueron 23 ± 1

años, $70,6 \pm 3,0$ kg, $1,79 \pm 0,01$ m, y $4,44 \pm 0,08$ L.min⁻¹ (media \pm error estándar de la media), respectivamente. El estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Texas en Austin. Los sujetos dieron su consentimiento informado y fueron compensados económicamente por su participación.

Evaluaciones Preliminares

El VO₂ máx. y el umbral del lactato (LT) fueron determinados usando un protocolo incremental en una bicicleta ergométrica de potencia constante (independiente de las RPM) (Jaeger ERGOTEST). El VO₂ en el LT fue determinado usando un método gráfico previamente descrito (9). El LT medio de los sujetos ocurrió al 75 ± 1 % del VO₂ máx. (VO₂ de $3,34 \pm 0,07$ L.min⁻¹).

Todos los sujetos completaron un protocolo de aclimatación al calor que consistió de cuatro sesiones de ciclismo de 1 hora realizadas en un ambiente cálido ($31,2 \pm 0,1$ °C, 54 ± 3 % de humedad relativa, y velocidad del viento de $3,5$ m.s⁻¹) a través de un período de 10 días. Durante las primeras tres sesiones, los sujetos se ejercitaron a la tasa de trabajo que produjo el VO₂ de su LT. La sesión de aclimatación final fue completada a una tasa de trabajo que produjo una intensidad 5% por encima de su LT y fue usada para familiarizar a los sujetos con los procedimientos experimentales y para medir la tasa de sudoración individual para los cálculos de volúmenes de restitución de fluidos durante las pruebas experimentales.

Diseño Experimental

Los sujetos hicieron ciclismo en un ergómetro estacionario durante 50 min en un ambiente cálido ($31,2 \pm 0,1$ °C, 54 ± 3 % de humedad relativa, y velocidad del viento de $3,5$ m.s⁻¹) a una tasa de trabajo constante que produjo un VO₂ 5% arriba de su LT. Esto fue realizado en cuatro ocasiones separadas por al menos 72 h. La intensidad del ejercicio durante este período de 50 min fue elegida en base a datos piloto que indicaron que una tasa de trabajo que produjera un VO₂ un 5% superior al LT era la más alta posible de sostener durante 1 h en un ambiente cálido cuando los sujetos no consumen fluidos.

Durante estas sesiones experimentales, los sujetos recibieron al azar lo siguiente: 1) fluidos y carbohidratos (F + C) en forma de una solución de carbohidratos y electrolitos al 6% (Gatorade®, Quaker Oats Co.), 2) Fluidos (F) en forma de una solución de agua y electrolitos, 3) Carbohidratos (C) en forma de una solución de maltodextrina y electrolitos al 40%, o 4) Placebo (P) en forma de cápsulas que contenían electrolitos. El volumen de fluido consumido en F + C y en F, promedió 1330 ± 60 mL y estuvo cerca del volumen necesario para mantener el peso corporal en base a los datos de tasa de sudoración de los individuos. El volumen de fluido consumido en C fue determinado por la cantidad de la solución al 40% de maltodextrina necesaria para equiparar el contenido de carbohidratos en F + C (i.e., 200 ± 10 mL). El contenido medio de carbohidratos en F + C y en C fue de 79 ± 4 g. El contenido de electrolitos ingeridos fue igual para las cuatro pruebas y promedió 619 ± 29 mg de sodio y 141 ± 7 mg de potasio. Las cápsulas de electrolitos en P fueron ingeridas con un volumen de agua igual al consumido en C (i.e., 200 ± 10 mL).

Antes de participar en las pruebas experimentales, a los sujetos se les informó que recibirían cuatro tratamientos diferentes para mejorar el rendimiento.

Los tratamientos fueron parcialmente disfrazados para mantener lo que creían los sujetos. En la prueba F, la solución con agua y electrolitos fue endulzada artificialmente con aspartamo y coloreada para parecerse a la bebida con carbohidratos y electrolitos.

En la prueba P, a los sujetos se les mencionó que las cápsulas contenían fosfato de sodio, una supuesta ayuda ergogénica.

Estas pruebas experimentales fueron elegidas para que se ajusten a un diseño factorial para evaluar los principales efectos de dos factores, la restitución de fluidos y el consumo de carbohidratos, y la potencial interacción entre los dos factores. El factor de tratamiento de restitución de fluidos tuvo dos niveles: volumen grande de restitución de fluidos (RF grande), compuesto por las pruebas F + C, y F, y volumen pequeño de restitución de fluidos (RF pequeña), compuesto por las pruebas C y P. El factor de tratamiento del consumo de carbohidratos también tuvo dos niveles: 79 ± 4 g de carbohidratos (CHO), compuesto por las pruebas F + C y C, y sin carbohidratos (sin CHO), compuesto por las pruebas F y P.

Rendimiento

Luego del período de 50 min de tasa de trabajo constante en el ergómetro, los sujetos comenzaron inmediatamente un test de rendimiento en ciclismo, que requirió que los sujetos completaran una cantidad de trabajo establecida en el menor tiempo posible. La cantidad de trabajo (J) fue determinada individualmente para cada sujeto y fue igual a la cantidad completada en un período de 10 min manteniendo una intensidad que estuviera un VO₂ 10% por encima del LT. Por ejemplo, si un sujeto tenía un VO₂ 10 % encima del LT de $3,77$ L.min⁻¹, el cual sería alcanzado por una tasa de trabajo de 275 W, la cantidad de trabajo del test de rendimiento sería igual a 165000 J (i.e., 275 J.s⁻¹. 10 min. 60 s.min⁻¹ = 165000 J). A los sujetos se les pidió que eligieran la más alta tasa de trabajo que pudieran sostener y se les informó el tiempo de

finalización estimado del test de rendimiento si la carga elegida era mantenida. Los sujetos tenían libertad de variar la tasa de trabajo en cualquier momento durante el test y se les dio un tiempo estimado de finalización actualizado, cuando eran realizados tales ajustes, pero no se les informó el tiempo de finalización de cada test oficial hasta que las cuatro pruebas del estudio fueran finalizadas. Fue dado un aliento estandarizado para todos los sujetos durante el test de rendimiento, y en la mayoría de los sujetos, el aliento fue dado solamente por un investigador que estaba ciego al tratamiento que había sido administrado (i.e., el investigador solo estaba presente para el test de rendimiento). La realización del test de rendimiento inmediatamente después de 50 min de ejercicio intenso tuvo como intención simular un “esprint final” de la prueba contrarreloj de 40 km.

Procedimientos Experimentales

Los sujetos se reportaron al laboratorio a la misma hora del día en una condición de euhidratación luego de una noche de ayuno. La euhidratación fue lograda instruyendo a los sujetos a que bebieran libremente el día antes y a que consumieran 5 mL.kg⁻¹ de peso corporal de agua, 2 horas antes del inicio de la evaluación. Para mantener reservas energéticas similares antes de cada prueba, los sujetos consumieron la misma dieta y se abstuvieron de entrenar el día antes de la evaluación. Además los niveles de entrenamiento fueron mantenidos estables a través de todo el período del estudio.

Una vez que arribaban al laboratorio, los sujetos evacuaban y era registrado su peso corporal mientras estaban desnudos. Después de entrar a la cámara ambiental, se les insertaron termistores de temperatura esofágicos y rectales y un catéter de Teflón se les insertó en la vena antecubital para tomar muestras sanguíneas. Los sujetos se sentaron luego tranquilamente en la bicicleta ergométrica durante ≥ 15 min, mientras que fueron colocados termistores de temperatura de la piel. Fueron registradas la temperatura y frecuencia cardiaca de reposo.

Después, fue extraída una muestra de sangre en reposo de 10 mL a partir de un catéter, y comenzó el período de ejercicio.

Durante el ejercicio de 50 min en estado estable, fueron registradas la temperatura de la piel (T_{SK}), temperatura esofágica (T_{ES}), temperatura rectal (T_{RE}), frecuencia cardiaca (HR), e índice de esfuerzo percibido (RPE) [2] a intervalos de 10 min. El consumo de oxígeno (VO_2) y el índice de intercambio respiratorio (RER) fueron medidos por un período de 5 min, comenzando en el minuto 7 y 28 del ejercicio, y las dos mediciones fueron promediadas para obtener valores de VO_2 y RER medios. El gasto cardiaco (Q) fue medido en triplicado durante un período de 8 min que comenzó en el minuto 34 del ejercicio, y las tres mediciones fueron promediadas para dar un valor de Q promedio.

Fue extraída una muestra de sangre de 10 mL en los minutos 7, 25, y 50 del ejercicio. Inmediatamente después de la finalización del test de rendimiento, fueron registrados el tiempo de finalización, T_{SK} , T_{ES} , T_{RE} y HR y fue extraída una muestra sanguínea de 10 mL. Luego de estas mediciones, a los sujetos se les quitaron los equipos experimentales, y se secaron antes de que fuera registrado el último valor de peso mientras los sujetos permanecían desnudos (sin evacuar la orina).

El fluido que fue consumido en las diferentes pruebas fue ingerido inmediatamente antes del ejercicio (40% del volumen total), en el minuto 15 (20%), 25 (20%), y 34 (20%). Durante la prueba P, las cápsulas de placebo fueron ingeridas en los mismos períodos de tiempo que el volumen de agua. Los fluidos fueron calentados en un baño de agua hasta 37-39 °C antes de consumirlos, para minimizar fluctuaciones en T_{ES} después de que fueran ingeridos.

Medición de la Temperatura Corporal

La T_{ES} fue registrada con un termistor (YSI modelo 491A) insertado a través del pasaje nasal hasta una profundidad de 25% de la talla del sujeto de pie.

Debido a la dificultad para insertar la sonda, la T_{ES} no fue medida en un sujeto y los datos de T_{ES} son reportados solamente para siete sujetos. La T_{RE} fue medida con un termistor (YSI modelo 401) insertado 15 cm adentro del esfínter anal. La T_{SK} fue medida con termistores superficiales (YSI modelo 409A) en seis sitios (brazo, antebrazo, pecho, espalda, muslo, y pantorrilla) y la T_{SK} promedio fue calculada a partir de la fórmula ponderada de Hardy y DuBois [17].

Todos los termistores fueron conectados a una celda de interruptor conectada con un teletermómetro (YSI modelo 2100).

Determinación del Consumo de Oxígeno

Los sujetos respiraron a través de una válvula de Daniel, mientras el aire inspirado era medido con un medidor de gas seco (Parkinson-Cowan CD4). El aire espirado fue muestreado a partir de una cámara de mezclado y analizado para determinar las concentraciones de O_2 y CO_2 a través de analizadores de gases (O_2 =Ametek S-3A/I, CO_2 =Ametek CD-3A).

Tanto los analizadores de gases como el medidor de gas seco estaban conectados con la computadora del laboratorio

(Apple IIe) a través de un conversor analógico-digital (Rayfield REP-200B, Chicago, IL) y los cálculos para el VO_2 , VCO_2 , e índice de intercambio respiratorio (RER) fueron realizados por el *software* de la computadora (Rayfield, Chicago, IL). Los analizadores de gases fueron calibrados usando gases de concentración conocida.

Determinación del Gasto Cardíaco

El Q fue determinado usando una versión computarizada de la técnica de reinhalación de CO_2 de Collier [7] usando la ecuación de Fick: $\text{VCO}_2/(\text{diferencia en el contenido de } \text{CO}_2 \text{ venoso-arterial})$. El VO_2 fue medido, tal como se describe arriba, para un período de 60 s antes de cada procedimiento de reinhalación. Los contenidos arteriales y venosos de CO_2 fueron calculados a partir de sus respectivas PCO_2 a través de una ecuación que describe la curva de disociación del CO_2 y corregidos para la concentración de hemoglobina [20]. La PCO_2 tidal final también fue medida durante el período de 60 s antes de cada procedimiento de reinhalación, a través del muestreo continuo en una base de respiración a respiración a partir de la boquilla, usando un segundo analizador de gases para CO_2 (Ametek CD-3A) conectado a la computadora del laboratorio. La PCO_2 mezclada fue estimada a partir del equilibrio de PCO_2 obtenido después de que los sujetos reinhalaran un gas que contenía ~ 14% de CO_2 . El criterio para el equilibrio de PCO_2 fue: 1) el equilibrio fue obtenido dentro de 12 s después del comienzo del proceso de reinhalación, y 2) el plateau en el equilibrio no varió más de 1 Torr por un período de 5 s. La HR fue medida continuamente con un monitor de la frecuencia cardíaca (Uniq CIC Heartwatch). El volumen sistólico (SV) fue calculado dividiendo el Q por la HR medida durante el período de recolección de la PCO_2 tidal final.

Determinación de la Tasa de Sudoración

La tasa de sudoración de todo el cuerpo fue estimada a partir de la pérdida de peso corporal debido a la deshidratación durante el ejercicio y a la exhalación de carbono y agua metabólicos y corregida para el peso ganado, debido a la ingesta de fluidos. La pérdida de carbono y agua metabólicos fue calculada a partir del VO_2 y RER promedios durante el ejercicio, utilizando las estimaciones de Pugh et al. [30]. El peso corporal con el sujeto desnudo fue determinado sobre una balanza de plataforma con una exactitud de ± 20 g.

Análisis Sanguíneos

El hematocrito fue medido en triplicado después de una microcentrifugación y corregido para el muestreo de sangre y plasma. La concentración de hemoglobina fue medida con la técnica de la cianometahemoglobina. Los cambios en el volumen plasmático (PV) y el volumen sanguíneo (BV) fueron calculados con las ecuaciones desarrolladas por Dill y Costill [13]. La osmolaridad sérica fue medida por medio de la disminución del punto de congelamiento (Advanced Instruments 3 MO). La concentración de sodio sérico fue medida con un analizador de electrolitos automático (Nova 5). La concentración de glucosa sanguínea fue medida con un analizador de glucosa automático (YSI Glucosa Analyzer 23L). La concentración plasmática de lactato fue medida con un método espectrofotométrico [9]. La concentración de insulina plasmática fue medida con un kit estándar de radioinmunoensayo (ICN Biomedicals Inc., Costa Mesa, CA).

Análisis Estadísticos

Los datos recolectados antes de los tratamientos (i.e., peso corporal pre-ejercicio, temperaturas centrales en reposo, y concentraciones sanguíneas en reposo) fueron analizados con ANOVA de una vía para mediciones repetidas, para determinar si los sujetos diferían significativamente antes del inicio de cada tratamiento individual. Los datos recolectados en forma repetida a través del tiempo durante las sesiones de ejercicio, fueron analizados con ANOVA para tres vías (fluidos vs. carbohidratos vs. tiempo) con mediciones repetidas. Los datos de las mediciones realizadas solo una vez (i.e., Q y SV promedio, VO_2 y RER promedio, concentración plasmática de insulina, tasa de sudoración de todo el cuerpo, y tiempos de finalización de las pruebas de rendimiento y tasas de trabajo) y las diferencias en las variables a partir del período de ejercicio de 50 min hasta el final de la prueba de rendimiento, fueron analizadas con ANOVA a dos vías (fluidos vs. carbohidratos) con mediciones repetidas. Los procedimientos de ajuste de Geisser-Greenhouse o Box fueron aplicados a todos los tests *F*. Luego del test *F* significativo, las diferencias entre medias fueron descubiertas con el procedimiento *post hoc* HSD de Tukey. El nivel de significancia para todos los test fue establecido a $p < 0,05$. Los datos son presentados como $\text{media} \pm \text{error estándar de la media}$.

Prueba	Peso Corporal pre-ejercicio (kg)	Peso Corporal post-ejercicio (kg)	% de Reducción del Peso Corporal	Concentración de Hemoglobina Pre-ejercicio (g.dL ⁻¹)	Tasa de Sudoración (L.h ⁻¹)
Placebo	70,7±3,0	69,3±2,9	2,0±0,1	14,23±0,21	1,33±0,08
Carbohidratos	70,7±3,0	69,4±2,9	1,8±0,1	13,85±0,17	1,25±0,08
Fluidos	70,6±3,0	70,2±2,9	0,5±0,2	13,96±0,20	1,36±0,08
Fluidos + Carbohidratos	70,4±3,0	70,1±2,9	0,5±0,1	14,03±0,23	1,32±0,07

Tabla 1. Cambios en el peso corporal, concentración de hemoglobina pre-ejercicio, y tasa de sudoración de todo el cuerpo durante el ejercicio. Los valores son promedios±error estándar de la media de 8 sujetos.

RESULTADOS

Consumo de Oxígeno

La tasa de trabajo promedio durante la sesión de ejercicio en estado estable de 50 min fue de 259±12 W. Esto implicó que el VO₂ alcanzara un valor de 3,52±0,08 L.min⁻¹ durante las cuatro pruebas (i.e., F + C, F, C y P), lo que correspondió al 80±1 % del VO₂ máx. El VO₂ y el RER no difirieron durante ninguno de los tratamientos. El RER promedió 0,94±0,01 para tanto el tratamiento RF grande como pequeña, y también para los tratamientos CHO y sin CHO.

Nivel de Hidratación

Los sujetos comenzaron cada prueba en el mismo nivel de hidratación, tal como se evidencia por los valores pre-ejercicio similares para los pesos corporales y las concentraciones de hemoglobina en reposo, antes de cada una de las cuatro pruebas individuales (Tabla 1). Durante la prueba RF pequeña, fue ingerido un promedio de 200±10 mL (i.e., 13% de los fluidos perdidos) y el peso corporal disminuyó 1,3±0,1 kg y 1,4±0,1 kg durante las pruebas C y P, respectivamente. Durante la RF grande, fue ingerido un promedio de 1330±60 mL (i.e., 79% de los fluidos perdidos) y el peso corporal disminuyó solo en un 0,3±0,1 kg durante tanto las pruebas F + C como F. Las tasas de sudoración para todo el cuerpo no fueron diferentes para ninguno de los tratamientos y los valores para ambas pruebas están presentados en la Tabla 1.

Test de Rendimiento

La RF grande durante los 50 min de ejercicio resultó en un tiempo final en el test de rendimiento más rápido que en el caso de la RF pequeña (10,22±0,27 vs. 10,93±0,32 min, p<0,05) (Figura 1). La tasa de trabajo durante el tratamiento con RF grande fue 276±6 W en comparación a 258±6 W durante el tratamiento con RF pequeño (p<0,05). El tratamiento con CHO también resultó en un tiempo de finalización más rápido que para la condición sin CHO (10,23±0,28 vs. 10,92±0,32 min, p<0,05) (Figura 1) y la tasa de trabajo durante la condición CHO fue 276±6 W en comparación con los 258±6W durante la condición sin CHO (p<0,05). No fue observada ninguna interacción de los factores de los tratamientos con fluidos y carbohidratos, indicando que los fluidos y los carbohidratos mejoran cada uno el rendimiento en forma independiente y cada uno contribuye con 0,7 min (i.e., 6%).

Placebo 11.34 ± 0.32	Fluidos 10.51 ± 0.27	Sin CHO 10.92 ± 0.32
Carbohidratos 10.55 ± 0.29	Fluidos + Carbohidratos 9.93 ± 0.28	CHO 10.23* ± 0.28
RF pequeña 10.93 ± 0.32	RF grande 10.22† ± 0.27	

Figura 1. Tiempo de finalización de las pruebas de rendimiento para las pruebas individuales y para los tratamientos con fluidos y carbohidratos. Los datos están expresados como valores medios ± error estándar de la media (n=8). RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo CHO significativamente más rápido que sin CHO, $p<0,05$. † Grupo RF grande significativamente más rápido que el grupo RF pequeña, $p<0,05$.

Respuestas Cardiovasculares

La HR se incrementó progresivamente durante el período de 10 a 50 min de la sesión de ejercicio en todos los tratamientos (Figura 2). La HR fue significativamente diferente entre la RF grande y chica, comenzando al min 20 y continuando hasta el final de la sesión de 50 min en estado estable ($p<0,05$) (Figura 2a). De manera contraria, la HR no fue afectada por el tratamiento con carbohidratos en ningún tiempo (Figura 2b). Al final de la prueba de rendimiento, la HR promedió 179 ± 3 lat.min⁻¹ para la RF grande y 180 ± 3 lat.min⁻¹ para la RF pequeña, la cual fue una diferencia no significativa (Figura 2a).

De manera similar, no hubo una diferencia significativa en la HR final para la condición CHO (181 ± 3 lat.min⁻¹) vs. sin CHO (178 ± 2 lat.min⁻¹) (Figura 2b). Sin embargo, el incremento en la HR desde el min 50 hasta el final de la prueba de rendimiento fue significativamente mayor para la condición CHO en comparación a la sin CHO (6 vs. 2 lat.min⁻¹, $p<0,05$), reflejando el incremento de la producción de potencia a partir de los CHO.

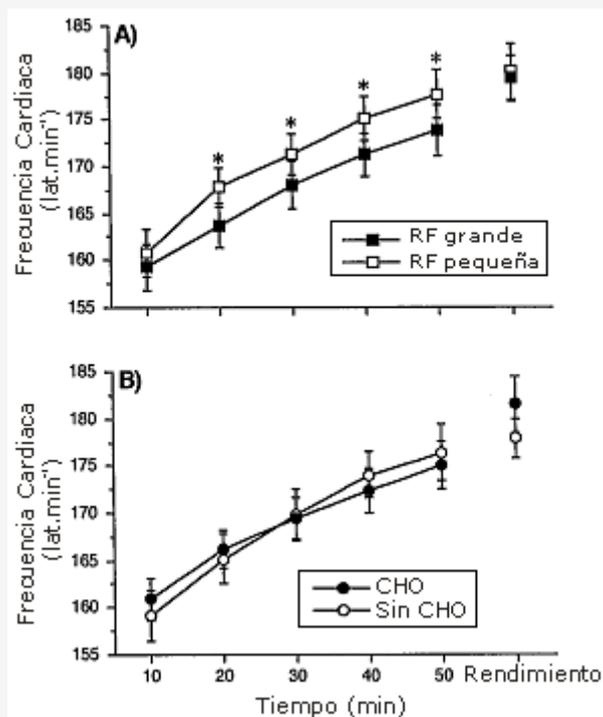


Figura 2. Frecuencia cardiaca durante la sesión de ejercicio de 50 min y al final del test de rendimiento para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande en el mismo punto de tiempo, $p < 0,05$.

El Q al min 40 de ejercicio no fue significativamente diferente para ninguno de los tratamientos y promedió $23,7 \pm 0,6$ $L \cdot min^{-1}$ para la RF grande, $23,0 \pm 0,6$ $L \cdot min^{-1}$ para la RF pequeña, $23,7 \pm 0,6$ $L \cdot min^{-1}$ para la condición CHO, y $23,0 \pm 0,6$ $L \cdot min^{-1}$ para la condición sin CHO. Hubo una tendencia hacia la diferencia en el SV al min 40 entre los tratamientos y promediaron 139 ± 4 $mL \cdot latido^{-1}$ para la RF grande vs. 132 ± 4 $mL \cdot latido^{-1}$ para la RF pequeña ($p = 0,10$) y 138 ± 4 $mL \cdot latido^{-1}$ para la condición CHO vs. 133 ± 4 $mL \cdot latido^{-1}$ para la condición sin CHO ($p = 0,09$). El SV para cada prueba individual fue: 143 ± 6 $mL \cdot latido^{-1}$, 135 ± 6 $mL \cdot latido^{-1}$, 132 ± 6 $mL \cdot latido^{-1}$ y 130 ± 6 $mL \cdot latido^{-1}$ para los grupos F+C, F, C y P, respectivamente.

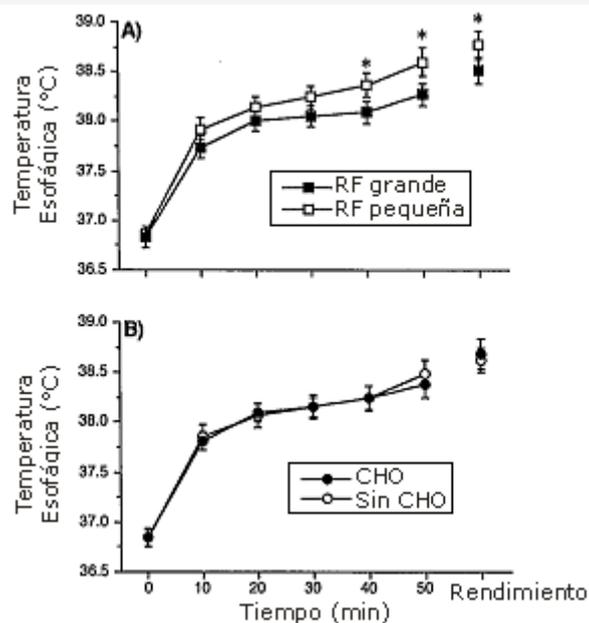


Figura 3. Temperatura esofágica durante la sesión de ejercicio de 50 min y al final del test de rendimiento para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media ($n=7$). RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande en el mismo punto de tiempo, $p<0,05$.

Temperatura Media de la Piel, Rectal, y Esofágica

La T_{ES} fue significativamente mayor a los min 40 y 50 durante la condición RF pequeña en comparación a la RF grande ($38,37 \pm 0,12$ vs. $38,09 \pm 0,11$ °C y $38,60 \pm 0,12$ vs. $38,27 \pm 0,11$ °C, respectivamente, $p<0,05$). (Figura 3a). No hubo diferencias en T_{ES} para las condiciones CHO vs. sin CHO en ningún punto de tiempo durante los 50 min (Figura 3b). El incremento en T_{ES} desde el min 50 hasta el final de la prueba de rendimiento no difirió para ninguno de los tratamientos (Figura 3). Al final de la prueba de rendimiento, la T_{ES} durante la RF pequeña permaneció significativamente más alta que la RF grande ($38,77 \pm 0,14$ vs. $38,52 \pm 0,13$ °C, $p<0,05$) (Figura 3a) y no difirió para la condición CHO vs. sin CHO ($38,69 \pm 0,15$ vs. $38,62 \pm 0,12$ °C) (Figura 3b).

La T_{RE} siguió un patrón similar a la T_{ES} y se incrementó significativamente en el min 40 y 50 durante la condición RF pequeña en comparación a RF grande ($38,77 \pm 0,15$ vs. $38,61 \pm 0,18$ °C y $39,00 \pm 0,18$ vs. $38,79 \pm 0,19$ °C, respectivamente, $p<0,05$). No fueron encontradas diferencias en T_{RE} para las condiciones CHO y sin CHO para ningún punto de tiempo. Al final del la prueba de rendimiento, la T_{RE} permaneció significativamente elevada para la RF pequeña en comparación a la RF grande ($39,17 \pm 0,18$ vs. $39,00 \pm 0,20$ °C).

La T_{SK} promedio a través de la sesión de ejercicio en estado estable de 50 min no difirió para ninguno de los tratamientos, pero disminuyó significativamente a través del tiempo. La T_{SK} promedio (el valor medio de los tratamientos con fluidos y carbohidratos) fue significativamente menor al min 50 en comparación al valor del min 10 ($31,4 \pm 0,2$ vs. $31,8 \pm 0,1$ °C, $p<0,05$).

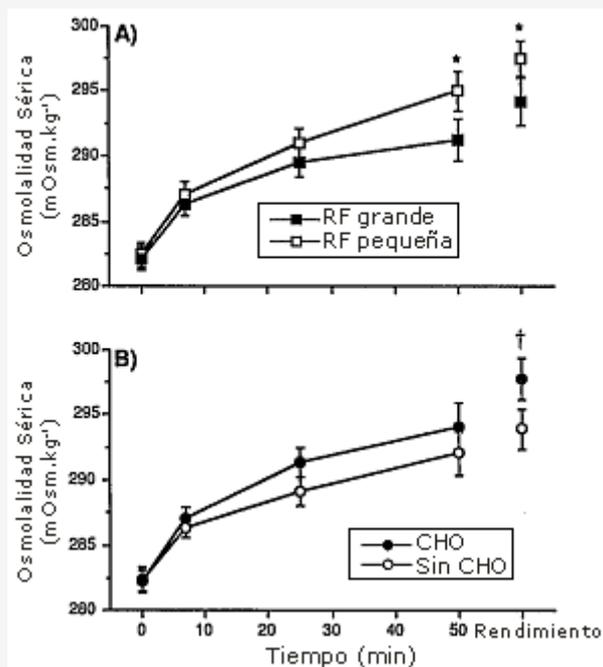


Figura 4. Osmolaridad sérica durante la sesión de ejercicio de 50 min y al final del test de rendimiento para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande en el mismo punto de tiempo, $p < 0,05$. † Grupo CHO significativamente mayor que el grupo Sin CHO, $p < 0,05$.

Osmolalidad y Sodio Séricos

La Figura 4 ilustra que la osmolalidad sérica se incrementó a través de todo el ejercicio en todos los tratamientos, y este incremento se atenuó durante la condición RF grande. La RF pequeña resultó en una osmolalidad sérica significativamente mayor en el min 50 en comparación a la RF grande (295 ± 2 vs. 291 ± 2 mOsm.kg⁻¹, $p < 0,05$) (Figura 4a). Aunque la osmolalidad sérica fue mayor para la condición CHO en los min 25 y 50 en comparación a la condición sin CHO, estas diferencias no alcanzaron significancia estadística (Figura 4b).

El cambio en la osmolalidad sérica desde el min 50 hasta el final del test de rendimiento no difirió para ninguno de los tratamientos. Sin embargo, el final de la prueba de rendimiento, la osmolalidad sérica permaneció significativamente más alta para la RF pequeña vs. la RF grande (298 ± 1 vs. 294 ± 2 mOsm.kg⁻¹, $p < 0,05$) (Figura 4a) y la diferencia para la condición CHO vs. sin CHO alcanzó significancia estadística (298 ± 2 vs. 294 ± 2 mOsm.kg⁻¹, $p < 0,05$) (Figura 4b).

La concentración sérica de sodio en los min 25 y 50 fue significativamente mayor durante la RF pequeña en comparación con la RF grande ($p < 0,05$). (Figura 5a), pero no difirió para la condición CHO vs. sin CHO para ningún punto de tiempo (Figura 5b). En el min 50, la concentración de sodio sérico promedió $145,9 \pm 0,3$ mM para la RF grande y $147,5 \pm 0,3$ mM para la RF pequeña, y promedió $146,8 \pm 0,5$ mM para la condición CHO y $146,5 \pm 0,5$ mM para la condición sin CHO. Al final de la prueba de rendimiento, el sodio sérico permaneció elevado para la RF pequeña por encima de la condición RF grande ($148,1 \pm 0,5$ vs. $146,5 \pm 0,5$ mM, $p < 0,05$) (Figura 5a), mientras que no fueron observadas diferencias para las condiciones CHO y sin CHO ($147,8 \pm 0,6$ vs. $146,8 \pm 0,5$ mM) (Figura 5b).

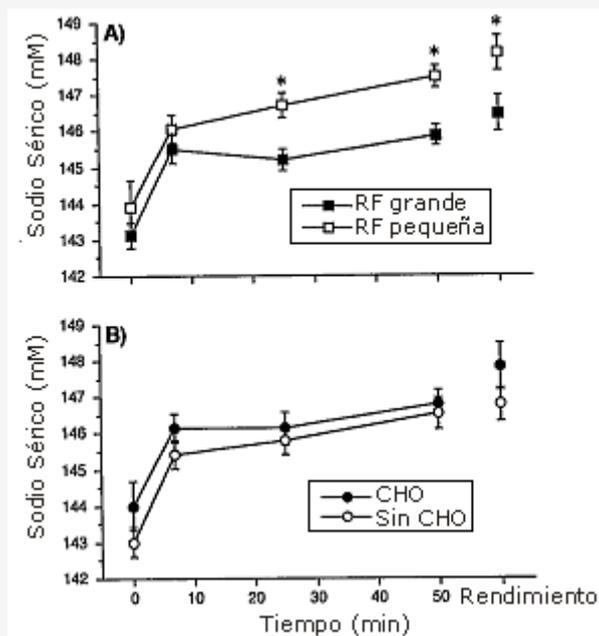


Figura 5. Concentraciones séricas de sodio durante la sesión de ejercicio de 50 min y al final del test de rendimiento para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande en el mismo punto de tiempo, $p < 0,05$.

Glucosa Plasmática

La concentración plasmática de glucosa promediada a través de la sesión completa de ejercicio de 50 min fue ligeramente superior, aunque a un nivel significativo en comparación a la condición sin CHO ($5,7 \pm 0,2$ vs. $5,4 \pm 0,2$ mM, $p < 0,05$) (Figura 6b). La concentración de glucosa plasmática difirió para la RF pequeña vs. la RF grande solo en el min 50 ($6,7 \pm 0,6$ vs. $6,0 \pm 0,6$ mM, $p < 0,05$) (Figura 6a).

Además, la concentración de glucosa plasmática se incrementó desde el min 50 hasta el final de la prueba de rendimiento durante la condición RF grande y disminuyó durante la RF pequeña, y así el cambio fue significativamente mayor durante la RF grande vs. la RF pequeña ($0,31 \pm 0,15$ vs. $-0,38 \pm 0,11$ mM, $p < 0,05$) (Figura 6a). No hubo diferencias en la concentración de glucosa plasmática al final de la prueba para ninguno de los tratamientos.

Insulina Plasmática

La concentración de insulina plasmática fue medida solo una vez a los 50 min de ejercicio y fue significativamente mayor para la condición CHO en comparación a la condición sin CHO ($13,2 \pm 1,5$ vs. $9,3 \pm 0,9$ $\mu\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$, $p < 0,05$), pero no fue diferente para la condición RF grande vs. RF pequeña ($11,9 \pm 1,7$ vs. $10,6 \pm 1,0$ $\mu\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$).

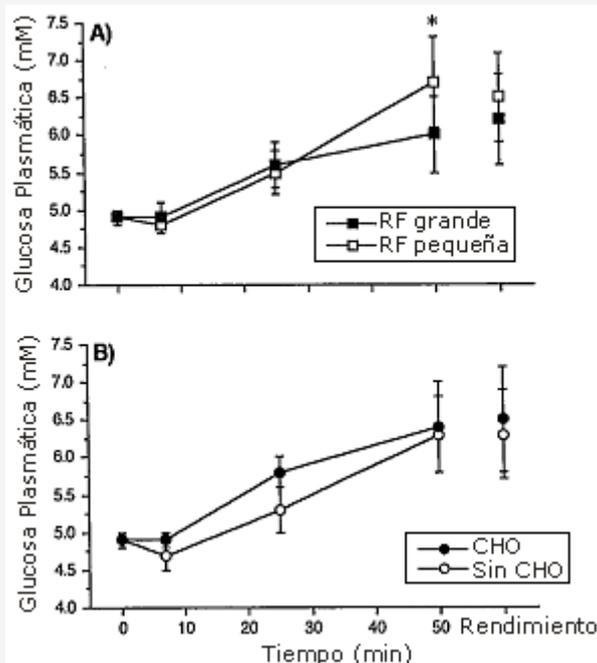


Figura 6. Concentraciones séricas de glucosa durante la sesión de ejercicio de 50 min y al final del test de rendimiento para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande, $p < 0,05$; † Concentración de glucosa plasmática promedio para el grupo CHO significativamente mayor que para el grupo Sin CHO para toda la sesión de ejercicio de 50 min, $p < 0,05$.

Lactato Plasmático

La concentración plasmática de lactato no difirió para ninguno de los tratamientos en ningún punto de tiempo durante la sesión de ejercicio en estado estable de 50 min. En el min 50, la concentración plasmática de lactato fue $4,4 \pm 0,2$ mM durante la condición RF grande en comparación a los $4,2 \pm 0,2$ mM durante la RF pequeña y fue $4,3 \pm 0,2$ mM durante la condición CHO en comparación a los $4,3 \pm 0,3$ mM durante la condición sin CHO. De manera similar, la concentración plasmática de lactato no fue diferente para ninguno de los tratamientos al final de la prueba de rendimiento y fue $8,2 \pm 0,4$ mM para la condición RF grande y $8,1 \pm 0,3$ mM para RF pequeña, y $8,1 \pm 0,4$ mM para la condición CHO y $8,2 \pm 0,3$ mM para la condición sin CHO.

Volumen Sanguíneo y Plasmático

La Figura 7 muestra el cambio en el PV desde los niveles observados después del min 7 para las cuatro pruebas individuales. El PV disminuyó significativamente desde el min 7 al 50 del ejercicio en todas las pruebas ($p < 0,05$) excepto F+C, en donde se mantuvo bien. Se observó una interacción significativa en el PV entre los tratamientos con fluidos y carbohidratos a través del tiempo ($p < 0,05$).

Esta interacción indica que la influencia de la condición RF grande para mantener el PV a través del tiempo durante el ejercicio es dependiente de su contenido de carbohidratos; los fluidos con carbohidratos son efectivos, pero los fluidos sin carbohidratos no es efectivo para mantener el PV.

Durante el período del min 7 al 50, los cambios en el volumen sanguíneo siguieron un patrón similar a los del PV y también exhibieron una interacción significativa entre los factores fluidos, carbohidratos y tiempo ($p < 0,05$).

Índice de Esfuerzo Percibido

El RPE se incrementó durante el período desde el min 10 al 50 del ejercicio para todos los tratamientos (Figura 8). El RPE durante la condición RF pequeña fue significativamente mayor que durante la condición RF grande tanto a los min 40 como 50 ($16,4 \pm 0,3$ vs. $15,5 \pm 0,4$ unidades de Borg y $17,2 \pm 0,4$ vs. $16,4 \pm 0,3$ unidades de Borg, respectivamente, $p < 0,05$) (Figura 8a). El RPE no fue afectado significativamente por la ingestión de carbohidratos en ningún punto de tiempo (Figura 8b).

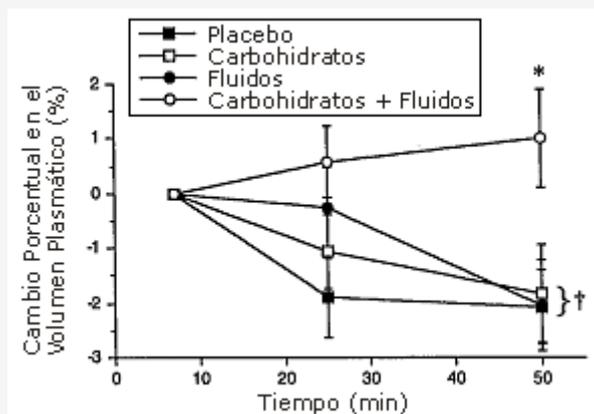


Figura 7. Cambio porcentual en el volumen plasmático (a partir del min 7) durante la sesión de ejercicio de 50 min para las pruebas individuales. Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. * El valor de la prueba Fluidos + Carbohidratos es significativamente mayor que todas las otras pruebas en el mismo punto de tiempo, $p < 0,05$. † Los valores de las pruebas fluidos, carbohidratos y placebo son significativamente menores que en el min 7, $p < 0,05$.

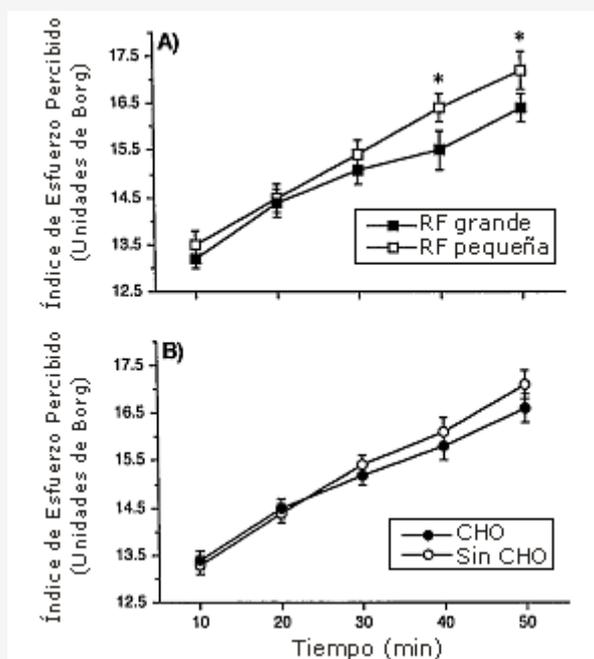


Figura 8. Índice de esfuerzo percibido durante la sesión de ejercicio de 50 min para los tratamientos con fluidos (A) y carbohidratos (B). Los datos están expresados como valores medios \pm error estándar de la media. RF grande=volumen grande de restitución de fluidos; RF pequeña= volumen pequeño de restitución de fluidos; CHO=ingestión de CHO; Sin CHO=sin ingestión de CHO. * Grupo RF pequeña significativamente mayor que el grupo RF grande, $p < 0,05$.

DISCUSION

El principal hallazgo de este estudio fue que la restitución de fluidos y la ingestión de carbohidratos, individualmente, mejoran el rendimiento en el ciclismo de alta intensidad. Los tiempos de rendimiento fueron mejorados en una magnitud igual ($\sim 6\%$) cuando los sujetos consumieron ya sea un volumen grande de fluidos (RF grande; 79% de restitución de las pérdidas de fluidos) en comparación a un volumen pequeño (RF pequeña, 15% de restitución de las pérdidas de fluidos) ($10,22 \pm 0,27$ vs. $10,93 \pm 0,32$ min, $p < 0,05$) (Figura 1) o consumieron 79 ± 4 g de carbohidratos (CHO) en comparación a nada (Sin CHO) ($10,23 \pm 0,26$ vs. $10,92 \pm 0,32$ min, $p < 0,05$) (Figura 1).

El ANOVA de los tiempos de rendimiento indicó que no hubo interacción entre los factores de los tratamientos con fluidos y carbohidratos, indicando que ambos ejercen sus efectos independientemente y aparentemente, en forma aditiva. Cuando los fluidos o los carbohidratos fueron ingeridos individualmente (i.e., pruebas F y C), ambos mejoraron el rendimiento en aproximadamente 6% en comparación a la prueba placebo (P), y cuando los fluidos y los carbohidratos fueron combinados (i.e., prueba F + C), el rendimiento se incrementó en un 12% en comparación a la condición P. Estos datos de rendimiento demuestran que restituir un volumen grande de fluidos (i.e., 79% de las pérdidas de fluidos), independientemente del nivel de carbohidratos, es significativamente mejor para el rendimiento que restituir un volumen pequeño (i.e., 13 % de las pérdidas de fluidos) e ingerir ~79 g de carbohidratos, independientemente del nivel de fluidos restituidos, es significativamente mejor para el rendimiento que no ingerir nada.

Debería ser reconocido que estos resultados de rendimiento fueron obtenidos a partir de sujetos que no pudieron estar completamente ciegos de los tratamientos que les administraron. A pesar de la sugerencia a los sujetos de que estaban recibiendo diferentes tratamientos para mejorar el rendimiento durante cada prueba, ellos pueden haber esperado un mayor beneficio de una prueba respecto a las otras, particularmente en aquellas pruebas en donde fue consumido un gran volumen de fluidos (i.e., F+C y F). De este modo, los resultados del rendimiento deberían ser interpretados teniendo en consideración esto.

Para nuestro conocimiento, hay pocos datos respecto de los efectos de la restitución oral de fluidos sobre el rendimiento durante el ejercicio de alta intensidad (>80% del VO_2 máx.), aunque otros estudios han sido conducidos a intensidades de ejercicio bien por debajo del 70% del VO_2 máx. [1, 18, 28, 31].

Deschamps et al. [12] midieron el rendimiento cuando los sujetos pedalearon intensamente hasta el agotamiento (~84% del VO_2 máx.), pero los fluidos fueron restituidos por medio de una infusión salina al 0,9% en vez de por medio de una ingestión oral. La infusión salina no influyó el tiempo hasta el agotamiento en comparación a la ausencia de infusión (20,8 vs. 22,0 min). Además, Maughan et al. [19] midió el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo al 70% del VO_2 máx. en sujetos que consumieron 700 mL.h⁻¹ de agua o nada y encontraron que beber resultó en un tiempo hasta el agotamiento 6 min superior a la ausencia de ingesta de fluidos (76,2 vs. 70,2 min), pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

La mejora en el rendimiento observada en este estudio en la condición RF grande puede haber sido influenciada por el efecto de la restitución de fluidos sobre la atenuación del incremento de T_{ES} y HR. En comparación a la RF pequeña, los sujetos comenzaron la prueba de rendimiento durante la RF grande con una T_{ES} 0,33 °C menor (38,27±0,11 vs. 38,60±0,14 °C, $p<0,05$) (Figura 3a) y una HR 4 lat.min⁻¹ menor (174±3 vs. 178±3 lat.min⁻¹, $p<0,05$) (Figura 2a). De hecho, la HR fue significativamente menor para la condición RF grande en comparación con la RF pequeña durante el período completo desde el min 20 al 50 de ejercicio, precediendo a la prueba de rendimiento (Figura 2a). Estas respuestas coinciden con aquellas observadas durante la segunda hora de ejercicio prolongado, en donde ha sido demostrado que la restitución de un gran volumen de fluidos disminuye la temperatura central y la HR, aunque en un mayor grado de lo que se observó en el presente estudio [15, 16, 22, 23]. En asociación con esto, previamente hemos observado que el Q es significativamente mayor después de 110 min de ejercicio (al 65 % del VO_2 máx.) cuando el 81% de la pérdida de fluidos fue restituida en comparación a cuando solo se restituyeron el 20% [22, 23]. Aunque en el presente estudio el Q en el min 40 del ejercicio no fue significativamente mayor con la RF grande en comparación a la RF pequeña (23,7±0,6 L.min⁻¹ vs. 23,0±0,6 L.min⁻¹), no podemos descartar la posibilidad de que las diferencias significativas en Q existieron entre la RF grande y pequeña durante el test de rendimiento. Junto con la menor T_{ES} y HR, los sujetos iniciaron el test de rendimiento durante la RF grande, sintiendo menos estrés que durante la RF pequeña, tal como se evidencia por el menor RPE (16,4±0,3 vs. 17,2±0,4 unidades de Borg, $p<0,05$) (Figura 8a). Todos estos factores (i.e., menor T_{ES} , HR, y RPE) probablemente tuvieron un impacto sobre las tasas de trabajo seleccionadas durante la prueba de rendimiento.

La capacidad de la ingestión de carbohidratos para mejorar el rendimiento durante estas sesiones de 1 h de ejercicio de alta intensidad es de algún modo sorprendente, y los mecanismos a través de los cuales se produjo esto no están claros. El efecto benéfico del rendimiento de la ingestión de carbohidratos fue claramente independiente de la restitución de fluidos, tal como se evidenció por el hecho de que los CHO no atenuaron los incrementos en la temperatura central, HR, o RPE, tal como lo hizo la RF grande.

Durante el ejercicio más prolongado (>2 h), está bien establecido que la ingestión de carbohidratos puede retrasar la fatiga y mejorar el rendimiento y este efecto parece deberse a la capacidad de los carbohidratos ingeridos de prevenir la hipoglucemia y mantener la oxidación de carbohidratos más tarde en el ejercicio cuando los niveles de glucógeno muscular disminuyen y se incrementa la dependencia sobre la glucosa sanguínea [5, 6]. Sin embargo, en este estudio, no hay evidencia que la ingestión de carbohidratos ejerza su efecto benéfico por medio del aumento de la concentración de glucosa sanguínea y la oxidación de carbohidratos.

Los sujetos en el presente estudio nunca padecieron hipoglucemia. De hecho, al final de la sesión de ejercicio de 50 min y

al final de la prueba de rendimiento, las concentraciones de glucosa sanguínea fueron relativamente altas (6-7 mM) para todos los tratamientos debido al ejercicio de alta intensidad [5, 6] (Figura 6). El consumo de ~ 79 g de carbohidratos durante la condición CHO tuvo solo un efecto menor sobre el incremento de la concentración de la glucosa sanguínea durante la sesión de 50 min.

De hecho, inmediatamente antes de la prueba de rendimiento, la concentración de glucosa sanguínea en las condiciones CHO y sin CHO fue casi idéntica ($6,4 \pm 0,6$ vs. $6,3 \pm 0,5$ mM) (Figura 6b). Esta falta de un gran incremento en la concentración de la glucosa sanguínea con la ingestión de carbohidratos se debe probablemente a la supresión de la producción de glucosa endógena [32]. En estudios previos en los que la intensidad del ejercicio correspondió al 70-74% del VO_2 máx., también hemos encontrado que la ingestión de carbohidratos no incrementa la concentración de glucosa sanguínea o la oxidación de carbohidratos durante la primera hora de ejercicio [5, 6]. Coincidiendo con esto, en el presente estudio la tasa de oxidación de carbohidratos durante los primeros 35 min de ejercicio fue la misma para las condiciones CHO y sin CHO, tal como se determinó a partir del RER ($0,94 \pm 0,01$ vs. $0,94 \pm 0,01$). Sin embargo, las mediciones de RER no fueron realizadas inmediatamente antes o durante la prueba de rendimiento (para no molestar a los sujetos durante la prueba), y no se sabe si las tasas de oxidación de carbohidratos aumentaron en esos tiempos.

Neufer et al. [26] reportaron un incremento en el rendimiento de corta duración y alta intensidad luego de la ingestión de carbohidratos. Sujetos bien entrenados pedalearon durante 45 min al 80% del VO_2 máx., y luego realizaron un test de rendimiento que requería la realización del mayor trabajo posible en un período de 15 min. Cuando los sujetos consumieron una solución con carbohidratos (45 g de carbohidratos), justo antes de la sesión de ejercicio, completaron un 10% más de trabajo en comparación a cuando consumieron una cantidad equivalente de agua. Esta mejora en el rendimiento ocurrió a pesar de que no hubo diferencias en las tasas de oxidación de carbohidratos entre las dos pruebas durante el período de ejercicio en estado estable de 45 min, similar a los presentes resultados.

La ingestión de carbohidratos no tuvo efecto sobre la T_{ES} (Figura 3b) y la HR (Figura 2b) en ningún punto de tiempo durante la sesión de ejercicio de 50 min.

Esto coincide con los datos de diferentes estudios que han investigado la influencia de los carbohidratos cuando son suministrados con fluidos en comparación a un placebo con agua [3, 8, 24, 25, 27, 29]. Sin embargo, los datos del presente estudio son nuevos ya que están basados en los efectos de la ingestión de carbohidratos independientemente del nivel de ingesta de fluidos. Estos resultados demuestran que la ingestión de carbohidratos (a un nivel igual a $\sim 79 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$) no influencia la temperatura central y la HR, bajo las condiciones de ejercicio empleadas en este estudio.

Después de 50 min de ejercicio, la RF grande fue mejor para mantener el PV (después de la hemoconcentración inicial que acompaña al inicio del ejercicio) (Figura 7), pero solo cuando fueron incluidos carbohidratos (i.e., en la prueba F + C) (cambio de $+ 1,0 \pm 0,9\%$ desde el min 7 en F + C vs. $-2,0 \pm 0,4$ para las otras pruebas). Cuando fue consumido un gran volumen de fluidos sin carbohidratos (i.e., la prueba F), el PV disminuyó al min 50 a un nivel similar al de las pruebas con RF pequeño (i.e., pruebas C y P). Esta diferencia en la respuesta del PV entre las condiciones F + C y F sugieren una influencia del contenido de carbohidratos, debido a que el contenido de electrolitos de todas las soluciones fue idéntico. Un hallazgo similar fue reportado por Carter y Gisolfi [4]. Sin embargo, otros estudios han reportado respuestas del PV similar durante el ejercicio con ingestión de soluciones de carbohidratos en comparación a la ingestión de agua [10, 11, 14, 19, 24, 25].

La consecuencia sobre la función cardiovascular de estos PV relativamente mayores durante la condición F + C no está clara. El SV en el min 40 no mostró una interacción estadísticamente significativa entre los factores de tratamiento con fluidos y carbohidratos tales como el PV, aunque el SV fue un 10% mayor durante la condición F + C en comparación a la P. Previamente hemos demostrado que una expansión del PV a través de la infusión de dextrán puede incrementar significativamente el SV en un 11% cuando sujetos como estos, pedalearon a intensidades más moderadas en el calor [23]. Es posible que la modesta diferencia en el PV entre la condición F + C y las otras pruebas (3%, aprox. 100 mL) no fue lo suficientemente grande para ejercer un efecto estadísticamente significativo sobre el SV.

En conclusión, durante 1 h de ciclismo al 80% del VO_2 máx. en condiciones cálidas, la restitución de un gran volumen de fluido (79% de las pérdidas) atenuó el incremento en la T_{ES} y la HR, los cuales ocurrieron cuando solo fue ingerido un volumen pequeño de fluidos (restituyendo el 13% de las pérdidas de fluidos). La ingestión de carbohidratos no tuvo un efecto sobre estas variables. Además, tanto la restitución de fluidos como la ingestión de carbohidratos (con los niveles de electrolitos mantenidos constante) mejoraron independientemente el rendimiento de una prueba contrarreloj con el ritmo autorregulado, en una magnitud igual ($\sim 6\%$). Finalmente, los efectos benéficos independientes de la ingestión de fluidos y carbohidratos sobre el rendimiento, fueron aditivos.

Dirección para Envío de Correspondencia

Agradecimientos

Este estudio fue apoyado por un subsidio del *Gatorade Sports Science Institute*. Ricardo Mora-Rodríguez y José González-Alonso eran becarios del Ministerio de Educación y Ciencia de España. Un agradecimiento especial a los sujetos por su alegre participación. Se aprecia mucho la ayuda técnica de George Petrek, Jeff Horowitz, Doug Ellett, y Kathleen Kujawa.

REFERENCIAS

1. Barr S. I., D. L. Costill y W. J. Fink (1991). Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline or no fluid. *Med. Sci. Sports Exerc.*; 23 (7): 811-817
2. Borg G (1975). Simple rating methods for estimation of perceived exertion. In: *Physical Work and Effort*. G. Borg (Ed.) New York: Pergamon Press, p. 29-46
3. Candas V., J. P. Libert, G. Brandenberger, J. C. Sagot, C. Amoros, and J. M. Kahn (1986). Hydration during exercise. Effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 113-122
4. Carter J. E. and C. V. Gisolfi (1989). Fluid replacement during and after exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*; 21 (5): 532-539
5. Coggan A. R. y E. F. Coyle (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. In: *Exercise and Sports Sciences Reviews*, Vol. 19, J. O. Holloszy (Ed.). Philadelphia: Williams & Wilkins, p. 1-40
6. Coggan A. R. and E. F. Coyle (1988). Effect of carbohydrate feedings during high intensity exercise. *J. Appl. Physiol.*, 65: 1703-1709
7. Collier C. R (1956). Determination of mixed venous CO₂ tensions by rebreathing. *J. Appl. Physiol.*, 9: 25-29
8. Costill D. L., W. F. Kammer and A. Fisher (1970). Fluid ingestion during distance running. *Arch. Environ. Health*; 21: 520-525
9. Coyle E. F., W. H. Martin, A. A. Ehsanin, J. M. Hagberg, S. A. Bloomfield, D. R. Sinacore and J. O. Holloszy (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J. Appl. Physiol.*, 54: 18-23
10. Davis J. M., W. A. Burgess, C. A. Slentz, W. P. Bartoli and R. R. Pate (1988). Effects of ingesting 6% and 12 % glucose/electrolyte beverages during prolonged intermittent cycling in the heat. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57: 563-569
11. Davis J. M., D. R. Lamb, R. R. Pate, C. A. Slentz, W. A. Burgess and W. P. Bartoli (1988). Carbohydrate-electrolyte drinks: effects on endurance cycling in the heat. *Am. J. Clin. Nutr.*, 48: 1023-1030
12. Deschamps A., R. D. Levy, M. G. Cosio, E. B. Marliss and S. Magder (1989). Effect of saline infusion on body temperature and endurance during heavy exercise. *J. Appl. Physiol.*; 66 (6): 2799-2804
13. Dill D. B. and D. L. Costill (1974). Calculation of percentage changes in volumen of blood, plasma and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.*, 37 (2): 247-248
14. Francis K. T (1979). Effect of water and electrolyte replacement during exercise in the heat on biochemical indices of stress and performance. *Aviat. Space Environ. Med.*; 50: 115-119
15. Gisolfi C. V. and J. R. Copping (1974). Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 6 (2): 108-113
16. Hamilton M. T., J. Gonzalez-Alonso, S. J. Montain and E. F. Coyle (1991). Fluid replacement and glucose during exercise prevent cardiovascular drift. *J. Appl. Physiol.*; 71 (3): 871-877
17. Ladell W. S. S (1955). The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J. Physiol. (Lond.)*, 127: 11-46
18. Maughan R. J., C. E. Fenn and J. B. Leiper (1989). Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 481-486
19. McHardy G. J. R (1967). Relationship between the differences in pressure and content of carbon dioxide in arterial and venous blood. *Clin. Sci. (Lond.)*, 32: 299-309
20. Mitchell J. B., D. L. Costill, J. A. Houmard, W. J. Fink, D. D. Pascoe and D. R. Pearson (1989). Influence of carbohydrate dosage on exercise performance and glycogen metabolism. *J. Appl. Physiol.*, 67 (5): 1843-1849
21. Montain S. J. and E. F. Coyle (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 73 (4): 1340-1350
22. Montain S. J. and E. F. Coyle (1992). Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J. Appl. Physiol.*, 73 (3): 903-910
23. Murray R., D. Eddy, T. W. Murray, J. G. Seifert, G. L. Paul and G. A. Halaby (1987). The effect of fluid and carbohydrate feedings during intermittent cycling exercise. *Med. Sci Sports Exerc.*, 19 (6): 597-604
24. Murray R., J. G. Seifert, D. E. Eddy, G. L. Paul and G. A. Halaby (1989). Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59: 152-158
25. Neuffer P. F., D. L. Costill, M. G. Flynn, J. P. Kirwin, J. B. Mitchell and J. Houmard (1987). Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feedings and diet. *J. Appl. Physiol.*, 62 (3): 983-988
26. Owen M. D., K. C. Kregel, P. T. Wall and C. V. Gisolfi (1986). Effects of ingesting carbohydrate beverages during exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18 (5): 568-575
27. Pitts G. C., R. E. Johnson and F. C. Consolazio (1944). Work in the heat as affected by intake of water, salt, and glucose. *Am. J. Physiol.*, 142: 253-259

28. Powers S. K., J. Lawler, S. Dood, R. Tulley, G. Landry and K. Wheeler (1990). Fluid replacement drinks during high-intensity exercise: effects on minimizing exercise-induced disturbances in homeostasis. *Eur. J. Physiol.*, 60: 54-60
29. Pugh L. G. C. E., J. L. Corbett and R. H. Johnson (1967). Rectal temperature, weight losses, and sweat rates in marathon running. *J. Appl. Physiol*, 23 (3): 347-352
30. Rohstein A. and E. J. Towbin (1947). Blood circulation and temperature of men dehydrating in the heat. In: *Physiology of Man in the Desert*, E. F. Adolph (Ed.). New York: Interscience Publishers, Inc., p. 172-196
31. Wolfe R. R., J. R. Allsop and J. F. Burke (1979). Glucose metabolism in man: responses to intravenous glucose infusion. *Metab. Clin. Exp.*, 28: 210-220
32. Wright D. A., W. M. Sherman and A. R. Dernach (1991). Carbohydrate feedings before, during or in combination improve cycling endurance performance. *J. Appl. Physiol.*, 71 (3): 1082-1088

Cita Original

Below Paul R., Ricardo Mora-Rodríguez, José González-Alonso, and Eduard F. Coyle. Fluid and Carbohydrate Ingestión Independently Improve Performance during 1 h of Intense Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*; 27 (2): 200-210, 1995.