PubliCE, (PubliCE) 2002

Case Study

Hiperhidratación con Glicerol, Rendimiento en Resistencia, y Respuestas Cardiovasculares y Termorregulatorias: Un Estudio de Caso de un Triatleta Altamente Entrenado

Eric Goulet[1], Pierre Gauthier[1], Susan Labrecque[2] y Donald Royer[1]

RESUMEN

Este estudio de caso observó el efecto de la hiperhidratación con glicerol (GH) en un triatleta altamente entrenado sobre el rendimiento en resistencia y las respuestas cardiovasculares y respiratorias. Para este propósito, el sujeto ingirió, en un diseño doble ciego al azar, una solución con glicerol (1.2 g/kg de peso corporal [BW] con 26 mL/kg BW, de fluido) o un placebo (26 mL/kg BW de fluido). Posteriormente el sujeto realizó 2 hs de ciclismo al 65% del VO_2 máx y a 25 °C, lo cual fue seguido por una evaluación de resistencia hasta el agotamiento. Durante el ejercicio, el sujeto tomó 830 mL de una bebida deportiva. Comparada con la hiperhidratación de placebo (PH), la GH incrementó el agua corporal total (TBW) en 1,033 mL antes del ejercicio. Después de 2hs de ciclismo, la tasa de sudoración, la frecuencia cardiaca, y el esfuerzo percibido fueron similares entre tratamientos, pero el GH redujo la producción de orina por 300 mL, previno la hipohidratación, y disminuyó la temperatura rectal en 0.42°C. Comparado con la PH, la GH incrementó el rendimiento en resistencia en un 24%, lo cual estuvo asociado a una temperatura rectal reducida, del orden de 0.3 °C. Por ello, en este triatleta altamente entrenado, la GH mantuvo mejor la hidratación durante 2 hs de ejercicio de ciclismo al 65% del VO_2 máx, lo cual redujo la temperatura central y mejoró el rendimiento de resistencia.

Palabras Clave: deshidratación, ayuda ergogénica nutricional, ejercicio prolongado, temperatura rectal, agua corpora

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que comparativamente a la ingesta de poco fluido (≤50% de la tasa de sudoración) o a la ausencia de la ingesta del mismo, durante el ejercicio prolongado de moderada intensidad, la ingesta de fluido a una tasa muy cercana a la tasa de sudoración reduce la temperatura central (1-3) y la frecuencia cardiaca (1-3) aún en climas cálidos y termoneutros. Para una significancia práctica se ha demostrado, en temperaturas cálidas, que la deshidratación tan baja

como del 1.8% del BW perjudica el rendimiento durante una prueba de ciclismo por tiempo de alta intensidad (~85% VO_2máx) (4) y disminuye el tiempo de ciclismo hasta el agotamiento al 90% del VO_2 pico (5).

Durante el ejercicio, las tasas de sudoración en ambientes de 20-32 °C pueden igualar o exceder 1 L/h (2-4) cuando, paradójicamente, las tasas de ingesta de fluido de la mayoría de los atletas de resistencia en esas circunstancias son raramente superiores a 500 ml/H (6). Consecuentemente, debido a que las tasas de sudoración son superiores al consumo de fluidos, los atletas desarrollan deshidratación durante el ejercicio prolongado. Por lo tanto, cualquier estrategia de hidratación cuyo objetivo fuera atenuar, retrasar o aún eliminar el efecto de la deshidratación durante el ejercicio debería recibir serias consideraciones. Una de estas estrategias es la hiperhidratación con agua antes del ejercicio. De hecho, se ha reportado que la hiperhidratación con agua en comparación con comenzar el ejercicio euhidratado reduce la temperatura central (7,8) y la frecuencia cardiaca (8,9) durante series sucesivas de ejercicio en las cuales no se proveyó fluido. Del mismo modo Moroff y Bass (10) han demostrado que, comparando a la euhidratación preejercicio con la rehidratación (1.200mL) durante una caminata de 90 minutos en el calor, la hiperhidratación con agua con rehidratación incrementó la tasa de sudoración y disminuyó la temperatura rectal y la frecuencia cardiaca.

Sin embargo, la eficacia de la hiperhidratación con agua en el incremento del TBW es limitada debido a que los riñones son extremadamente rápidos para liberarse rápidamente de cualquier fluido ingerido en exceso. Un método para disminuir la excreción de orina y, por ello prolongar el estado de hiperhidratación, es agregar glicerol al fluido ingerido durante la hiperhidratación. En efecto, comparativamente a la PH, se ha demostrado que la GH incrementa el TBW en mas de 250-660 mL (11-16) después de 2-2.5 horas, cuando han sido ingeridos juntos 21-26 ml/kg BW de fluido con 0.9-1.5 g de glicerol/kg BW. Por lo tanto, comparativamente a la PH, se ha demostrado que la GH reduce la frecuencia cardiaca (15) y la temperatura rectal (13), incrementa la tasa de sudoración (13), y mejora la capacidad de ejercicio (12-15).

Para nuestro conocimiento, ningún estudio ha examinado los efectos de la GH en atletas altamente entrenados durante un ejercicio de ciclismo prolongado que es conducido en un clima termoneutro (25° C) y que es inmediatamente seguido por una evaluación de rendimiento en resistencia hasta el agotamiento. Por ello este estudio tiene tres objetivos: 1) Determinar si la GH comparativamente a la PH, puede incrementar el TBW antes del ejercicio. 2) Determinar si la GH puede mejorar las funciones termorregulatorias (tasa de sudoración y temperatura rectal) y cardiovasculares (frecuencia cardiaca) durante dos horas de ejercicio de ciclismo al 65% del VO_2 máx. 3) Evaluar si la GH puede mejorar el rendimiento de resistencia. Fue hipotetizado que la GH puede incrementar el TBW, disminuir la temperatura rectal, incrementar el rendimiento de resistencia, pero que no poseía efecto sobre la tasa de sudoración y la frecuencia cardiaca. Los resultados de este estudio de caso pueden ayudar a determinar si se justifica conducir mas estudios sobre la GH en atletas altamente entrenados cuando realizan ejercicios en un clima termoneutral.

MÉTODOS

Sujetos e Informe de Consentimiento

Un triatleta altamente entrenado participó voluntariamente del estudio y no fue compensado con dinero. Su edad, masa corporal (BW), área de superficie corporal, potencia pico de sálida (PPO), porcentaje de VO_2 máx correspondiente al umbral ventilatorio 2, y VO_2 máx fueron : 27 años, 72.15 kg, 1.85 m^2, 400 watts, 85% VO_2 máx, y 4.6 lts/min respectivamente. Durante las 16 semanas previas a este estudio, el sujeto dedicó un promedio de 25 horas/semanas a su entrenamiento. En el año 2000, su volumen de entrenamiento expresado como un número anual total de km/deporte, fue 800, 8000, y 2200 km de natación, ciclismo y carrera, respectivamente. El mejor tiempo personal para un triatlón olímpico (1.5 km de natación, 40 km de bicicleta, y de 10 km de carrera) fue 1:49:44 (hs:min:seg). En comparación, el campeonato del mundo de triatlón del 2001 fue ganado con un tiempo de 1:48:01. Antes de tomar parte de este estudio, el sujeto completó un cuestionario sobre la historia de su salud para protegerlo de condiciones de salud y médicas que podrían contraindicar cualquier tipo de evaluación de ejercicio. Posteriormente se le explicó al sujeto la totalidad y los riesgos de los procedimientos, y posteriormente el sujeto decidió participar y firmo un informe de consentimiento por escrito. El protocolo experimental fue aprobado por el Comité Local de Investigación y Ética de la Faculté d'education physique et sportive of the Université de Sherbrooke.

Evaluaciones Preliminares

Una semana antes de la primer prueba el sujeto paso por una medición de VO_2 máx, VT_2 , y PPO en un ciclo ergómetro, de velocidad independiente, controlado por una computadora (Ergoline ER 900, Jeager, Europe) que fue modificado con un manubrio de carretera, el asiento del sujeto y pedales con punteras. Para este propósito, se utilizó una evaluación continua y graduada. El sujeto entro en calor en el ergómetro pedaleando por 5 minutos a una carga de 75-100 Watts. Lo que fue

seguido por un pequeño periodo de descanso (~1 min), posteriormente el sujeto comenzó a pedalear con una carga de 100 Watts, durante 2 minutos. Después la carga fue incrementada gradualmente a razón de 30 Watt/ min. La evaluación finalizó cuando el sujeto declaró agotamiento o al momento exacto cuando la frecuencia de pedaleo cayo a 59 rev/min. Durante la evaluación el sujeto llevó una máscara hermética aérea bucal (Hans Rudolph, USA) sobre la cual fue conectado un censor de volumen digital triple V. El triple V fue conectado a un analizador de gases Oxycon Pro (Jager, Europe) que fue calibrado 30 minutos antes del comienzo de la evaluación con concentraciones conocidas de gases. El sistema Oxycon fue conectado a una computadora convencional de alto rendimiento y los cálculos (promediados a intervalos de 15") para VO_2, VE/ VO_2, VE/ VCO_2, $P_{ET}CO_2$ y RER, fueron realizados a través del sofware Intellisupport provisto por el sistema. La obtención del VO_2 fue validada cuando al menos dos de los siguientes criterios fueron encontrados: 1) una meseta en el VO_2 a pesar de un incremento en la carga de trabajo, 2) un RER igual ≥1.1, y 3) la obtención de al menos el 90% de la frecuencia cardiaca máxima predecida por la edad (220-edad). El VO_2 máx fue definido como el máximo valor de VO_2 obtenido durante la evaluación. El VT_2 fue determinado usando el criterio de un incremento en VE/ VO_2 y VE/ VCO_2 y una caída en $P_{ET}CO_2$ (17). Para la evaluación de VO_2 máx, la PPO fue definida como la última potencia de salida que fue mantenida por más de 30 segundos.

Evaluación de Familiarización

Aproximadamente 15 minutos después de haber completado la evaluación de VO_2 máx, el sujeto experimentó una prueba de familiarización que consistió de 45 minutos de ciclismo al ~65% del VO_2 máx individual. El objetivo de esta prueba de familiarización fue determinar y confirmar la carga de trabajo a ser empleada durante la evaluación (o sea, aquella que responda al 65% del VO_2 máx.) y para familiarizar al sujeto con el equipamiento y los procedimientos utilizados en este estudio. La evaluación de VO_2 máx. sirvió para familiarizar al sujeto con la evaluación de rendimiento de resistencia. El sujeto ha pasado por varias ocasiones previas realizando evaluaciones graduadas, hasta el agotamiento similares a la evaluación de rendimiento de resistencia empleada en este estudio. En las últimas cuatro semanas antes de su primera prueba el sujeto completó 5 recorridos en bicicleta iguales a, o mayores a, 2 horas. Por ello, los efectos del entrenamiento y el aprendizaje, resultantes de la ejecución de la primera prueba (o sea 2 horas de ciclismo y la evaluación de rendimiento de resistencia) fueron anticipados para que sean insignificantes y, por ello, tengan una pequeña influencia sobre los resultados de la segunda prueba.

Protocolo Pre Experimenal

Durante el período del estudio el sujeto continuó con su entrenamiento usual. El se abstuvo de cualquier actividad física el día previo a ambas pruebas. Además, el sujeto se abstuvo del entrenamiento de fuerza por los tres días previos a ambas pruebas. Por las últimas 24 y 48 horas previas a la primera prueba, el sujeto tomo nota del fluido y de la dieta consumida, respectivamente. Posteriormente, el sujeto replicó esas notas antes de la segunda prueba. El día previo a cada prueba el sujeto se abstuvo de consumir sustancias diuréticas como alcohol, te, café, y chocolate. En el día de cada prueba el sujeto se reportó al laboratorio 90 minutos después de haber tomado 500 mL de agua y comido una barra energética (~200 kcals). El consumo de la barra energética y la ingesta de agua fueron respectivamente designados para incrementar suficientemente el nivel de energía previo a los ejercicios de ciclismo e igualar la hidratación antes de los periodos de hiperhidratación

Prueba Experimental

Una semana luego de la prueba de familiarización, el sujeto volvió al laboratorio a la misma hora del día. El laboratorio fue constantemente mantenido a 25° C, 38-42% de humedad relativa. Inmediatamente después de su arribo, el sujeto vació su vejiga y posteriormente fue pesado desnudo con un intervalo de precisión de 50 gramos. Posteriormente, para determinar cualquier posible efecto colateral asociado con la ingesta de las soluciones de agua y glicerol y placebo, el sujeto evaluó sobre una escala de 1 (nada) a 5 (extremo) diferentes síntomas (hinchazón abdominal, calambres, nausea, dolor de cabeza y vértigo). Posteriormente comenzó el periodo de hiperhidratación. El protocolo de hiperhidratación utilizado durante la GH y la PH es mostrado en la Tabla 1. A 0, 40, 80 min el sujeto ingirió la solución de glicerol o placebo, las que consistieron en 20 gramos de glicerol (TwinLab, USA) mezcladas con 433 mL de una bebida con aspartamo diluido (Crisal Light USA), y 433 mL de una bebida con aspartamo diluido, respectivamente. A 20 y 60 minutos el ingirió 289 mL de agua destilada. El glicerol (servido como una solución de 6.6%) y los fluidos fueron administrados en dosis divididas con la esperanza de minimizar la incidencia de efectos colaterales. Entregando el glicerol como una solución de 6% cada 40 minutos nosotros hipotetizamos que se podría disminuir/eliminar la posibilidad de que el sujeto desarrolle nausea, dolor de cabeza o vértigo. Similarmente, administrando pequeñas dosis de fluido cada 20 minutos nosotros teorizamos que se podría eliminar la posibilidad de que el sujeto desarrolle hinchazón abdominal o calambres. Las soluciones de glicerol y placebo fueron dadas en un diseño doble ciego al azar. Ambas soluciones de placebo y glicerol fueron servidas a 4°C y tuvieron el mismo sabor, color y textura.

Tiempo (min.)	Hiperhidratación con Glicerol	Hiperhidratación con Placebo
0	0.4 g de glicerol/Kg. BW con 6 Ml /Kg. BW de una bebida con aspartamo diluido	6 Ml/kg BW de una bebida con aspartamo diluido
20	4 ml/kg BW de agua destilada	4 ml/kg BW de agua destilada
40	0.4 g de glicerol/Kg. BW con 6 Ml /Kg. BW de una bebida con aspartamo diluido	6 Ml/kg BW de una bebida con aspartamo diluido
60	4 ml/kg BW de agua destilada	4 ml/kg BW de agua destilada
80	0.4 g de glicerol/Kg. BW con 6 Ml /Kg. BW de una bebida con aspartamo diluido	6 Ml/kg BW de una bebida con aspartamo diluido
110 120	Final del Protocolo Comienzo del Ejercicio de Ciclismo	

Tabla 1. *Regímenes de Hiperhidratación.*

El agua destilada fue servida a la temperatura de la habitación, que es de 25°C. Inmediatamente después de haber ingerido las soluciones de glicerol y placebo, el sujeto se enjuagó la boca con 50-100 mL de agua de grifo (37°C), que fue posteriormente escupida dentro de un recipiente. El objeto de este procedimiento fue remover cualquier posible residuo de glicerol. El sujeto estuvo imposibilitado de diferenciar entre las dos soluciones de hiperhidratación.

Para determinar los cambios en el TBW a lo largo del tiempo durante los periodos de hiperhidratación, el sujeto, inmediatamente después de calificar los efectos colaterales, orinó en un recipiente graduado para orina a los 18, 38, 58, 78, y 110 min. Los cambios en el TBW fueron computados a través de la substracción del volumen acumulado de orina producida, y del volumen acumulado de fluido ingerido. Se asumió que la pérdida imperceptible de agua fue similar entre tratamientos. A los 111 minutos se tomó el BW desnudo. Después, en el minuto 7 siguiente, el sujeto se vistió y fue instrumentado con una sonda rectal para la determinación de la temperatura rectal y un electrodo para la determinación de la frecuencia cardiaca, fueron tomadas la tasa de esfuerzo percibido (Escala de Borgh, escala de 20 puntos, 6: muy, muy liviano, 20: muy, muy pesado), percepción de sed (escala de 11 punto, 1:nada; 11: extrema) e incomodidad abdominal (escala de 5 puntos, 1: nada; 5 ; extrema).

Las 2 horas de ejercicio de ciclismo empezaron exactamente 129 min después del comienzo de los periodos de hiperhidratación. Para asegurar una intensidad similar de ejercicio entre tratamientos, el VO_2 fue monitoreado continuamente durante los primeros 15 minutos de las dos series de ejercicio. Y si es necesario, la carga de trabajo fue ajustada para provocar el consumo de oxígeno deseado. A través del ejercicio el sujeto mantuvo su frecuencia de pedaleo entre 80-90 rev/ min. Un ventilador colocado enfrente de la bicicleta hacía circular aire a baja velocidad. Fueron tomadas mediciones del esfuerzo percibido, percepción de sed e incomodidad abdominal a los 18, 38, 58, 78, 98 y 118 minutos, seguidas de la medición de la frecuencia cardiaca y la temperatura rectal 2 minutos mas tarde. Cada 20 minutos, y hasta los 100 minutos, el sujeto ingirió 166 mL de una bebida deportiva (Gatored USA) concentrada al 6%, que fue dada a 25° C para minimizar su efecto refrescante. Tal volumen de fluido (o sea 500 ml/h) fue específicamente seleccionado para mostrar el reflejo de la tasa de ingesta de fluido de la mayoría de los atletas de resistencia durante el ejercicio (6). El sujeto fue libre de parar en cualquier momento durante el ejercicio para orinar, excepto cuando la colección de orina estuvo dentro de los próximos 10 min.

Inmediatamente después del ejercicio de ciclismo, el sujeto orinó, se sacó su short de ciclismo y zapatillas, se secó el sudor con una toalla y fue pesado desnudo. Después el se volvió a colocar sus shorts y zapatillas de ciclismo subió a la bicicleta y descansó calmadamente sobre ella por 1 minuto. Al final de este periodo de descanso fueron tomadas una medición de temperatura rectal y de frecuencia cardiaca. El tiempo transcurrido entre el final del ejercicio de ciclismo y el comienzo de la evaluación de resistencia fue de 5 minutos. El sujeto comenzó la evaluación de rendimiento en resistencia con la carga previamente empleada durante las 2 horas de ejercicio de ciclismo más 25 Watts. La carga se incrementó subsecuentemente por 25 Watts cada 3 minutos antes que el sujeto acusara el agotamiento completo o en el momento exacto que en que su frecuencia de pedaleo cayera a 59 rev/min. La temperatura rectal y la frecuencia cardiaca fueron medidas al final de cada plateau y al final de la evaluación. No se le permitió al sujeto pararse sobre los pedales. El fue alentado de manera similar durante ambas evaluaciones y fue hecho consciente del tiempo transcurrido. El tiempo fue tomado al momento exacto que el paró la evaluación. Para el rendimiento de esta serie, fue computada la PPO, utilizando la siguiente fórmula: última serie completada enteramente durante los 3 minutos + ((tiempo total [s] en la última carga de trabajo que no fue enteramente completada/180 s) x Watts). El sujeto después tomó un período de 3-10 minutos de vuelta a

la calma después del cual le fue sustraido todo el equipamiento experimental.

Medición de la Temperatura Rectal

Inmediatamente después de los períodos de hiperhidratación, el sujeto insertó una sonda rectal (YSI USA) 15-cm mas allá de su esfínter anal con la ayuda de un lubricante soluble en agua (HR Lubricant Jelly, USA). El sitio correcto de la sonda fue verificado cada 20 minutos durante el ejercicio. El tele-termómetro fue ajustado a la línea roja antes de cada prueba para asegurar la confiabilidad de las mediciones.

Medición de Frecuencia Cardiaca

La frecuencia cardiaca fue medida usando muestras cada 5 segundos en tiempo real utilizando una unidad de interface computarizada (Polar Adventage, USA). Para facilitar la señal de conductividad, un gel con electrolitos (Signa Gel, Parker Laboratories, USA) fue aplicado sobre el electrodo antes de la instalación.

Medición de la tasa de Sudoración

La tasa de sudoración fue calculada utilizando la siguiente fórmula: ((BW antes del ejercicio – BW después del ejercicio [vejiga vacía] + volumen total del fluido consumido durante el ejercicio) – cualquier orina pérdida durante el ejercicio). No se realizaron correcciones sobre la pérdida de agua imperceptible y la pérdida asociada al intercambio respiratorio de O_2 y CO_2, y se asumió todas fueron idénticas entre tratamientos.

RESULTADOS

Periodo de Hiperhidratación

El BW inicial similar (PH: 72.9; GH: 72.85 kg) indica que el sujeto comenzó el periodo de hiperhidratación con similar estado de hidratación. Durante ambos tratamientos de hiperhidratación el sujeto ingirió 1.875 mL de fluido. La figura 1 presenta los cambios en TBW y los volúmenes de orina producidas durante GH y PH.

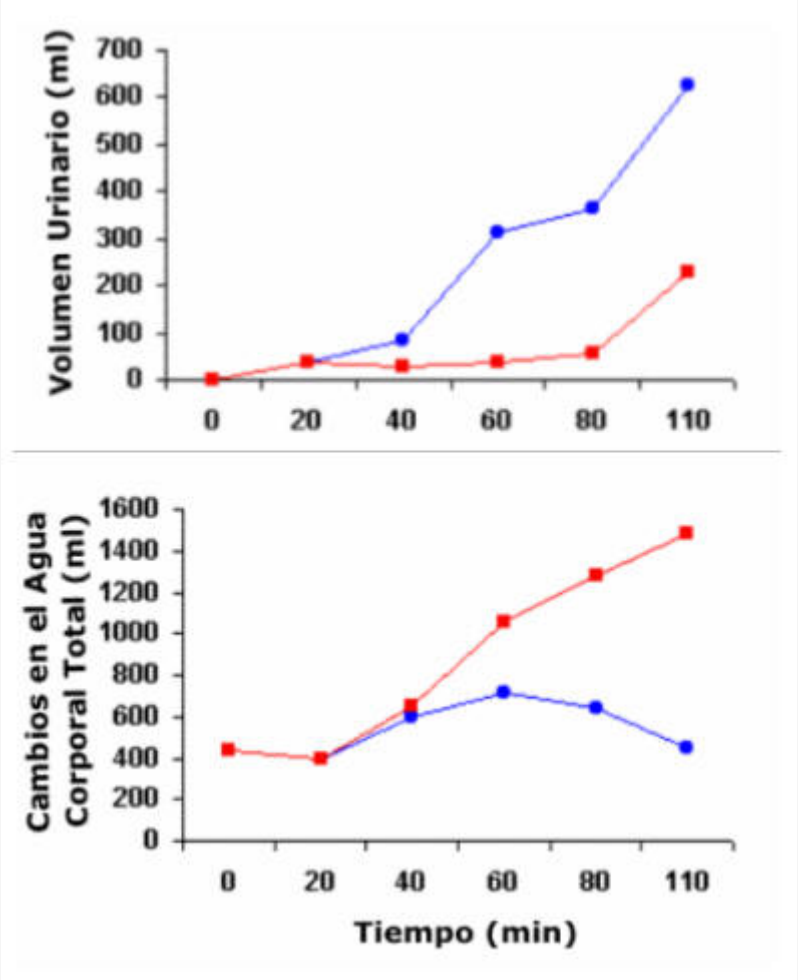

Figura 1. *Cambios en el agua corporal total (abajo) y volúmenes urinarios producidos (arriba) a través del tiempo (min) durante la hiperhidratación con placebo (cículos azules) con glicerol (cuadrados rojos).*

Como se esperaba, ambos PH y GH produjeron un estado de hiperhidratación previo al comienzo del ejercicio de ciclismo. En ambos tratamientos el TBW se incrementó en una cantidad similar antes de los 40 minutos. Con la PH el TBW llegó a un pico a los 60 minutos después del cual decreció constantemente para alcanzar un valor final a los 110 min de 453 mL., comparado con un pico de 1.486 mL con la GH. Por ello, comparado a la PH, la adición de glicerol a la bebida de aspartamo diluido incrementó el TBW en 1.033 mL adicionales. Con la PH, el volumen de orina se incrementó constantemente durante el tiempo para alcanzar un valor pico a los 110 min de 625 mL, para un volumen acumulado 1.422 mL. En contraste, los volúmenes de orina con la GH permanecieron similares (dentro de 28-56 mL) a 80 min., alcanzando un valor pico a los 110 min. de 230 mL para un volumen acumulado de 389 mL. Es importancia práctica que en ningún momento de ambos tratamientos el sujeto reportó hinchazón abdominal, calambres, dolor de cabeza o nausea.

Ejercicio de Ciclismo

En ambos tratamientos el sujeto se ejercitó a una tasa de trabajo de 210 Watts, la cual requirió un VO_2 de 3,070 mL/min, correspondiente al 66.8% del VO_2 máx. En ambos tratamientos el sujeto ingirió 830 mL de Gatorade. Las mediciones de frecuencia cardiaca y temperatura rectal medidas durante el descanso, inmediatamente previo a realizar el ejercicio de ciclismo, y durante el ejercicio, son mostrados cada 20 minutos en la figura 2. La frecuencia cardiaca al comienzo del ejercicio con GH, fue menor con un valor de 51 lat./min comparada a 58 lat./min con PH. De 0 a 20 minutos, la frecuencia cardiaca se incrementó a 117 b/m en ambos tratamientos y después se incrementaron lentamente hasta alcanzar un valor final de 125 y 123 b/m con PH y GH, respectivamente.

El sujeto comenzó ambos ejercicios de ciclismo con una temperatura rectal similar (PH: 36.35; GH: 36.3° C). Con PH, la temperatura rectal se incrementó rápidamente hasta 37.2 °C a los 20 min y posteriormente se incrementó constantemente durante el tiempo hasta alcanzar un valor final de 37.85°C . Con GH, la temperatura rectal se incrementó rápidamente a 37.4° C a los 60 minutos, después de ese tiempo se estabilizó en una valor final de 37.43 °C.

La tasa de sudoración total con PH y GH fue de 2.040 mL (17 mL/min) y 2.000 mL (16.7 mL/min), respectivamente. Durante el ejercicio de ciclismo, el volumen de orina con PH y GH fue de 613 mL (5.1 mL/min) y 310 mL (2.6 mL/min), respectivamente. Acorde a tener en cuenta la cantidad de fluido ingerido durante el ejercicio y la diferencia entre tratamientos en **1)** retención de fluido durante el ejercicio; **2)** tasa de sudoración; **3)** volumen de orina producida durante el ejercicio, el sujeto finalizó el tratamiento GH con mas de 1.375 mL de fluido, comparado con el tratamiento PH. Por ello, el sujeto terminó el tratamiento con GH euhidratado. En contraste el terminó el tratamiento PH deshidratado por el 2% de su peso corporal. En ningún momento específico percibió sed y los valores del esfuerzo percibido no variaron entre tratamientos. Adicionalmente en ningún tiempo específico el sujeto reportó incomodidad estomacal.

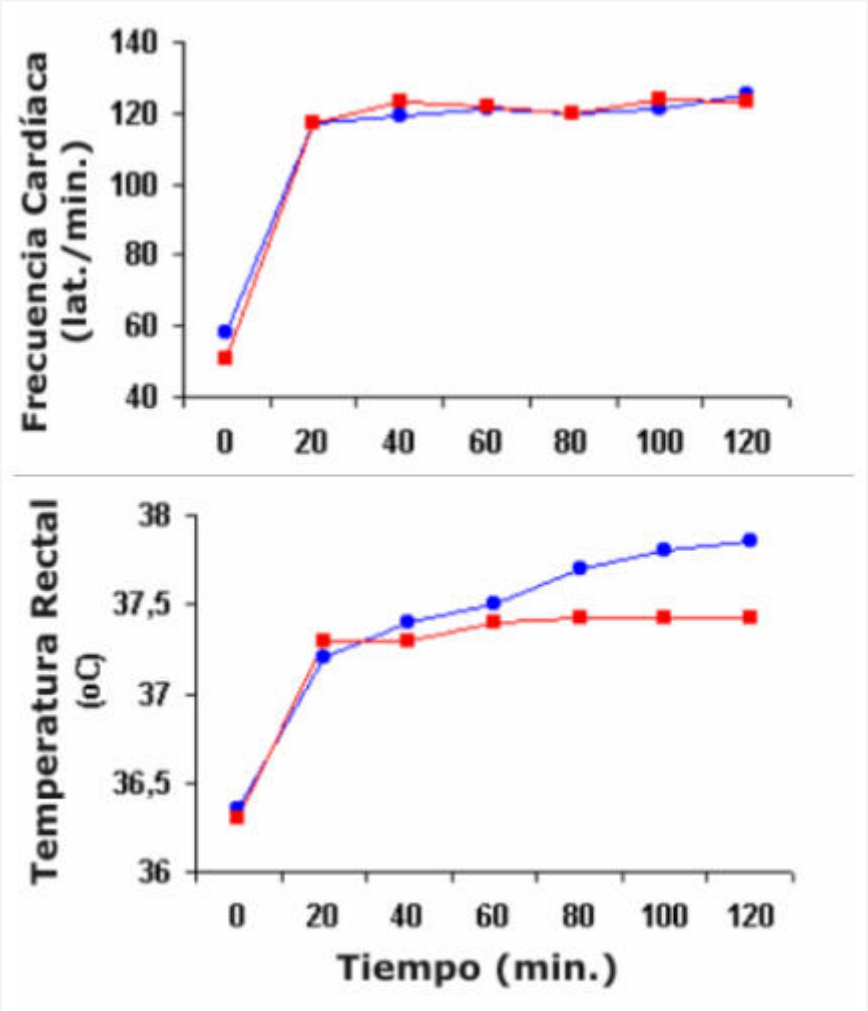

Figura 2. *Valores de frecuencia cardiaca (arriba) y temperatura rectal (abajo) a intervalos de 20 minutos durante el ejercicio de hiperhidratación con placebo (círculos azules) y glicerol (cuadrados rojos).*

Evaluación de Rendimiento en Resistencia

Comparativamente a la PH, el tiempo hasta el agotamiento fue mayor con la GH (PH: 15.47; GH: 19.36 min). Consecuentemente, la PPO fue mayor con la GH con un valor de 373 Watts, comparativamente a 342 Watts con la PH.

En los 5 minutos que separaron el final de los ejercicios de ciclismo del comienzo de la evaluación de rendimiento en resistencia, la frecuencia cardiaca con PH y GH declinó en 53 y 47 b/min, respectivamente. Por ello al comienzo de la evaluación, la frecuencia cardiaca fue 4 lat./min menor con PH que con GH. La frecuencia cardiaca máxima fue idéntica entre tratamientos con un valor de 170 b/min. Desde final de los ejercicios de ciclismo al comienzo de las evaluaciones de rendimiento en resistencia la temperatura rectal con PH y GH disminuyó desde 37.85 a 37.45°C y 37.43 a 37.25°C, respectivamente. Durante la evaluación de rendimiento en resistencia, la tasa de incremento de la temperatura rectal con PH fue de 0.85°C para un valor final al agotamiento de 38.3°C, mientras que con GH fue de 0.75°C para un valor final de

38°C. De este modo, aun cuando el tiempo hasta el agotamiento fue incrementado por 24% con GH, el sujeto terminó este tratamiento con una temperatura rectal menor.

DISCUSIÓN

En el presente estudio fue observado que comparativamente a la PH, la GH incrementó el TBW en 1.033 mL adicionales (14.3 mL/kg BW) durante un periodo de 2 hs. De hecho, Freund y cols. (11), Hitcins y cols. (12), Riedesel y cols (16) y Montener y cols. (14) han reportado que la GH comparativamente a la PH, incremento el TBW durante un periodo de dos horas en ~250, 500, 275 y 600 mL, respectivamente. Sin embargo debe ser destacado que existieron importantes diferencias metodológicas entre estos estudios y el nuestro. De hecho los primeros tres estudios (11, 12, 16) administraron el fluido (21-22 mL/kg BW) y glicerol (0.9 g/kg BW) dentro de los 30-40' del protocolo de hiperhidratación. Montener y cols. (14) administraron 1 gr de glicerol/kg BW como una solución de 20% al minuto 0 y 0.29 gr de glicerol/kg BW como una solución de 4 % al minuto 60, con el resto del fluido (5 mL/kg BW de agua) administrado a 30, 90 y 120 min. En el presente estudio, nosotros administramos 26 mL/kg BW de fluido con 1.2 g de glicerol/kg BW. El glicerol (0.4 g/kg BW) fue ingerido como una solución de 6.6% a 0, 40, 80 min, con el resto del fluido (4 ml/kg BW/min de agua destilada) ingerida a 20 y 60 min. Evidentemente, cualquier comparación con los estudios anteriores son dificultosas, como los resultados de los reportes la retención de fluidos son medias de un grupo de sujetos, no resultados individuales. Sin embargo, Lyons y cols. (13) reportaron resultados individuales de una retención adicional de fluido provisto con GH (comparado con PH), y el mayor valor obtenido por un sujeto (#4) fue de 750 mL, con una media (6 sujetos) de 520 mL. En este estudio, el glicerol (1g/kg BW) y fluido (24.4 mL/Kg BW) fueron ingeridos en el minuto 0 y las mediciones de la retención de fluidos fueron tomadas después de 2.5 horas. Como el protocolo de hiperhidratación con glicerol utilizado en el presente estudio produjo, comparado con la ingesta de la bebida de agua sola con aspartamo diluido, una mayor retención de fluido sin la producción de ningún efecto colateral, su uso puede ser alentado. Sin embargo, para validar nuestros resultados se requieren estudios adicionales que utilicen un protocolo de hiperhidratación idéntico al usado en el presente estudio.

Un importante hallazgo de este estudio es que comparativamente a la PH, la producción de orina durante el ejercicio de ciclismo con GH fue disminuida en 300 mL, mas allá del hecho que el sujeto comenzara este tratamiento con 1.033 mL de TBW adicional. Por ello, en el presente estudio, aparentemente el efecto antidiurético del glicerol duró hasta el final del ejercicio de ciclismo. La observación de una disminución en la excreción de orina durante el ejercicio con GH puede oponerse con las observaciones de Montner y cols. (15) y Latzka y cols. (18) quienes reportaron que la GH, comparado a la PH, no redujo la producción de orina durante el ejercicio. Pragmáticamente, el hecho de que la GH disminuyera la producción de orina durante el ejercicio mas que la PH puede implicar que esta estrategia puede reducir la influencia de tener que parar para orinar durante el ejercicio, lo cual es especialmente importante para los atletas que buscan un alto rendimiento.

Mas allá del hecho que la GH permitiera a los sujetos empezar el ejercicio de ciclismo con un mayor reservorio de agua, se observó que esto no tuvo efecto substancial sobre la frecuencia cardiaca y la tasa de sudoración. Otros también han demostrado que la frecuencia cardiaca (12, 13, 18) no era afectada por la GH. Sin embargo, no todos los estudios están de acuerdo con estos hallazgos. En efecto, en comparación a la PH, Montener y cols. (15) demostraron que la GH disminuyó significativamente la frecuencia cardiaca en 2.8 y 4.4 lat./min en el estudio 1 y 2 respectivamente. En el primer estudio, la GH incrementó el TBW en 660 mL antes del ejercicio, mientras que en el segundo estudio, el TBW fue incrementada en una cantidad similar en ambos tratamientos. Lyons y cols. (13) demostraron que la GH incrementó la tasa de sudoración durante 90 minutos de carrera al 60% del VO_2 máx., conducida en el calor. En este estudio la GH incrementó el TBW en 520 mL antes del ejercicio. Desafortunadamente, ninguno de estos estudios midió sistemáticamente los cambios en el volumen plasmático durante el ejercicio. Sin embargo, los valores de hemoglobina y hematocrito no revelaron diferencias significativas entre los tratamientos de glicerol y placebo. Comparativamente a la PH, se ha demostrado que la GH no incrementa significativamente el volumen de plasma durante el descanso y el ejercicio (11, 12, 18). De acuerdo con Latzka y cols. (19), la hiperhidratación ya sea con agua o con glicerol pueden promover la expansión del plasma que es proporcional al incremento en el TBW x 7.5% (el porcentaje de TBW en el plasma). Consecuentemente, si la GH, comparativamente a la PH, fuera a incrementar el TBW en 500-600 mL, en un individuo, posteriormente su volumen plasmático podría solo incrementarse en aproximadamente 38-49 mL. Esta pequeña diferencia de volumen entre tratamientos esta probablemente fuera de la resolución de alcance de medición (11). Nose y cols. (20) en 1990 examinó lo efectos de la expansión del volumen plasmático durante 50 min de ejercicio de ciclismo al 60% del VO_2máx en un clima termoneutro (22°C) y caluroso (30°C). Un tratamiento sin infusión fue comparado, con la infusión de una solución de 0.9% de NaCl a una tasa de 0.29 mL/kg BW/min. Comparado al tratamiento control, el tratamiento de infusión elevó el volumen plasmático en ~ 8% (280 mL) al final del ejercicio, lo cual interesantemente, no tuvo efecto sobre la frecuencia cardiaca en el clima termoneutro y sobre la tasa de sudoración sobre ambos climas. Por consiguiente, aunque es posible, es poco

probable que un incremento en el volumen plasmático de una magnitud de 38-49 mL pudiera justificar una disminución de la frecuencia cardiaca y un incremento en la tasa de sudoración observada en el estudio de Montner y cols. (15) y Lyons y cols. (13), respectivamente.

Comparativamente a la PH, la temperatura rectal al final del ejercicio de ciclismo con GH fue disminuida en 0.42°C. Concomitantemente, el sujeto mantuvo la euhidratación con GH, pero con la PH estuvo deshidratado en un 2% de su BW. Sawaka y Coyle (21) reportaron que la magnitud del incremento en la temperatura central durante el ejercicio varía de 0.1-0.23°C para cada porcentaje de BW que se pierde por debajo de la euhidratación, lo cual concuerda con la deferencia en la temperatura rectal observada entre GH y PH (2% x 0.21 °C: 0.42 °C). Así, en el presente estudio, la GH demostró una reducción mayor que la PH en la temperatura central debido a que mantuvo un mejor estado de hidratación. Al final de los ejercicios de ciclismo, la tasa de sudoración total fue similar en ambos tratamientos. Sin embargo, como la temperatura rectal fue mayor con la PH en comparación a la GH, la tasa de sudoración a una temperatura rectal dada fue menor con la PH. Se ha demostrado que la deshidratación reduce la habilidad para disipar calor debido a que incrementa la osmolaridad del plasma, lo cual reduce el flujo sanguíneo a la piel (22). Comparativamente a la PH, la GH ha demostrado que incrementa la osmolaridad en más de 10 mOsmol/kg durante el ejercicio (18). Sin embargo, como el glicerol puede penetrar en las células osmosensitivas, no se espero que el incremento en la osmolaridad resultante de la ingesta de glicerol, alterara el control de la termorregulación (18). Lyons y cols. (13) son los únicos que encontraron menores (-0.7°C) temperaturas rectales con GH, comparada con PH. Sin embargo un resultado similar es difícil de explicar ya que la diferencia en deshidratación entre tratamientos al final del ejercicio fue del orden de solo 0.24% del BW (placebo: 0.3%; glicerol: 0.056% del BW).

En comparación con la PH, se observó que la GH incremento el rendimiento en resistencia en un 24%. Estos resultados están de acuerdo con aquellos otros estudios, que reportaron que la GH estuvo asociada con un incremento en el tiempo de una prueba de rendimiento (12) y en el tiempo hasta el agotamiento (15). Sin embargo, ninguno de estos estudios fue capaz de identificar el mecanismo exacto a través del cual la GH mejora las capacidades del ejercicio: no fue encontrado ningún cambio en ninguna variable en particular que pueda explicar la conexión entre las respuestas de retención de fluido y el incremento en las capacidades de ejercicio. Interesantemente, en el segundo estudio de Montner y cols (15), la GH no ayudó a incrementar la retención de fluido comparativamente a la PH, pero el tiempo hasta el agotamiento no fue nunca incrementado en un 24% con este tratamiento. Por lo tanto sería tentador sugerir que el uso de glicerol como un substrato energético pudo haber contribuido al incremento en la capacidad de ejercicio observada en estos estudios. Respecto a ello, Scotto y cols. (23) han reportado recientemente que durante 2 horas de ejercicio de ciclismo conducido al 68% del VO_2máx, la tasa exógena de oxidación de glicerol después de la ingesta de 1 gr de glicerol/kg BW fue de 0.15 gr/min. Se estimó que esta cantidad de oxidación de glicerol contribuyó al 7% de la energía producida. Los autores concluyeron que “no hay justificación para promover la ingesta de glicerol como un suplemento energético”. Otros (24, 25) han concluido que después de la ingesta de 1 g de glicerol/kg BW la oxidación de glicerol exógeno pudo contribuir a un máximo de 5 (25) y 8% (24) de la energía producida, lo cual ha sido demostrado como insuficiente para incrementar la capacidad de ejercicio (24).

En el presente estudio, el incremento del rendimiento en resistencia con GH comparado a PH estuvo asociado a un mejor estado de hidratación y a una temperatura rectal reducida, ambas al principio y al final de la evaluación de rendimiento de resistencia. Below y cols. (4) experimentaron con sujetos que realizaron una prueba por tiempo (~10) inmediatamente después de haber pedaleado por 50 minutos al 80% del VO_2máx en un clima cálido. Durante los ejercicios de ciclismo se les proveyó a los sujetos ya sea 1.300 o 200 mL de fluidos, los cuales produjeron un estado de deshidratación de 0.5 y 1.8% del BW, respectivamente. El rendimiento en la prueba por tiempo fue incrementado en la prueba dónde la deshidratación fue minimizada y estuvo asociado con una temperatura rectal reducida, ambas antes (0.21°C) y al final del (0.17°C) de la prueba por tiempo. En comparación a mantener la euhidratación durante 1 h de ejercicio de ciclismo al 70% del VO_2 pico en el calor, Walsh y cols. (5) demostraron que la deshidratación tan baja como de 1.8% del BW redujo el tiempo hasta el agotamiento en un 36% durante una serie subsiguiente de ejercicio al 90% del VO_2 pico. Sin embargo, el incremento en el tiempo hasta la fatiga no estuvo asociado con una temperatura rectal reducida.

CONCLUSIÓN

En comparación a la PH, se observó que la GH incremento el TBW pre-ejercicio en 1.033 mL y atenuó la pérdida de fluido a través de la orina durante el ejercicio en un 100% (300mL). La adición de glicerol a la bebida le permitió al sujeto terminar el ejercicio de ciclismo euhidratado comparado con el 2% de deshidratación con PH. A pesar de este hecho, la tasa de sudoración, la frecuencia cardiaca, y el esfuerzo percibido fueron similares entre tratamientos después de dos horas de ciclismo. Sin embargo, al final del ejercicio de ciclismo con GH, la temperatura rectal fue disminuida en un 0.42°C. Estos

resultados del estudio (menor deshidratación, disminución en la temperatura rectal, e incremento del rendimiento en resistencia) sugiere que para aquellos interesados en hiperhidratarse cuando se ejercitan en un ambiente de 25°C, la adición de glicerol al fluido ingerido (6.6% solución de glicerol) podría ser una buena opción, como un potente reductor de deshidratación, reduciendo de esa manera los disturbios homeostáticos. Y como resultado de esto, la capacidad de ejercicio se podría incrementar, así como la recuperación del ejercicio podría ser acelerada/facilitada, lo cual es especialmente importante para atletas de resistencia quienes realizan más de una sesión de entrenamiento por día.

Los resultados de la presente investigación alientan a realizar más estudios sobre los efectos de la GH en atletas altamente entrenados en un clima termoneutro. El próximo paso, utilizando un procedimiento de hiperhidratación idéntico al utilizado en el presente estudio, debería ser el de utilizar protocolos de ejercicio que podrían 1) imitar mejor a los eventos atléticos reales y/o; 2) colocar mayor estress sobre los sistemas cardiovasculares y termorregulatorios, y 3) medir el rendimiento en resistencia con pruebas por tiempo, las cuales son más confiables que las evaluaciones hasta el agotamiento. Por ejemplo, podría ser interesante determinar como la GH podría afectar las funciones termorregulatorias y cardiovasculares y el rendimiento en resistencia durante un duatlon simulado (5 km de carrera, 30 km de ciclismo, 5 km de carrera). La deshidratación en atletas de elite al final de la carrera de maratón, es alta (observación personal). Consecuentemente, seria relevante determinar como puede o no la GH demostrar su beneficio durante tales ejercicios. Para estos propósitos, se podría utilizar una prueba por tiempo, que consista en recorrer 30-35 km.

Agradecimientos: Los autores quieren agradecer a Pierre Côté por su valorable asistencia técnica en varias etapas de este estudio. Los agradecimientos son también para el sujeto, quien para la ocasión del estudio, aceptó dejar su rutina de entrenamiento.

Dirección para correpondencia: Eric Goulet, M.Sc., Faculté d'éducation physique et sportive. Université de Sherbrooke, 2500 boulevard Université, Québec, Canada, J1K 2R1; Phone: 1-819-823-1832; E-mail: egoulet@interlinx.qc.ca

REFERENCIAS

1. Barr SI, Costill DL, Fink WJ (1991). Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med Sci Sports Exerc; 23: 811-7*
2. McConnel GK, Burge CM, Skinner SL, Hargreaves M (1997). Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol Scand; 160: 149-56*
3. Montain SJ, Coyle EF (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol; 73: 1340-50*
4. Below PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J, Coyle EF (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc; 27: 200-210*
5. Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med; 15: 392-398*
6. Noakes TD (1993). Fluid replacement during exercise. *Exerc Sport Sci Rev; 21: 297-330*
7. Grucza R, Szczypaczewska M, Kozlowski S (1987). Thermoregulation in hyperhydrated men during physical exercise. *Eur J Appl Physiol; 56: 603-607*
8. Nielsen B, Hansen G, Jorgensen SO, Nielsen E (1971). Thermoregulation in exercising man during dehydration and hyperhydration with water and saline. *Int J Biometeorol; 15: 195-200*
9. Nadel ER, Fortney SM, Wenger CB (1980). Effect of hydration on circulatory and thermal regulations. *J Appl Physiol; 49: 715-721*
10. Moroff SV, Bass DE (1965). Effects of overhydration on mans physiological responses to work in the heat. *J Appl Physiol; 20: 267-270*
11. Freund BJ, Montain SJ, Young AJ, Sawka, MN, Deluca JP, Pandolf KB et al (1995). Glycerol hyperhydration: hormonal, fluid and vascular fluid responses. *J Appl Physiol; 79: 2069-2077*
12. Hitchins S, Martin DT, Burke L, Yates K, Fallon K, Hahn A et al (1999). Glycerol hyperhydration improves cycle time trial performance in hot humid conditions. *Euro J Appl Physiol; 80: 494-501*
13. Lyons TP, Riedesel ML, Meuli LE, Chick TW (1990). Effects of glycerol-induced hyperhydration prior to exercise in the heat on sweating and core temperature. *Med Sci Sports Exerc; 22: 477-483*
14. Montner P, Zou Y, Robergs RA, Murata G, Stark D, Quinn C et al (1999). Glycerol hyperhydration alters cardiovascular and renal function. *J Exerc Physiol Online; Vol. 2: No 1*
15. Montner P, Stark DM, Riedesel ML, Murata G, Robergs R, Timms M et al (1996). Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *Int J Sports Med;17: 27-33*
16. Riedesel ML, Allen DY, Peake GT, Al-Qattan K (1940). Hyperhydration with glycerol solutions. *J Appl Physiol; 63: 2262-2268*
17. Latzka WA, Sawka MN, Montain SJ, Skrinar GS, Fielding RA, Matott RP et al (1997). Hyperhydration: thermoregulatory effects during compensable exercise-heat stress. *J Appl Physiol; 83: 860-866*
18. Latzka WA, Sawka MN (2000). Hyperhydration and glycerol: thermoregulatory effects during exercise in hot climates. *Can J Appl Physiol; 25: 536-545*

19. Nose H, Mack GW, Shi X, Morimoto K, Nadel ER (1990). Effect of saline infusion during exercise on thermal and circulatory regulations. *J Appl Physiol; 69: 609-616*
20. Sawka MN, Coyle EF (1999). Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev; 27: 167-217*
21. Montain SJ, Coyle EF (1992). Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol; 73: 903-910*
22. Gleeson M, Maughan RJ, Greenhaff PL (1986). Comparison of the effects of pre-exercise feeding of glucose, glycerol and placebo on endurance and fuel homeostasis in man. *Euro J Appl Physiol; 55: 645-653*
23. Miller JM, Coyle EF, Sherman WM, Hagberg JM, Costill DL, Fink WJ et al (1983). Effect of glycerol feeding on endurance and metabolism during prolonged exercise in man. *Med Sci Sports Exerc; 15: 237-242*

Cita Original

Eric Goulet, Pierre Gauthier, Susan Labrecque, y Donald Royer. Glycerol hyperhydration, endurance performance, and cardiovascular and thermoregulatory responses: a case of study of a highly trained triathlete. JEPonline; 2002; 5 (2):18.28.