

Original Research

Efecto de los Carbohidratos de Transporte Múltiple sobre el Rendimiento en Triatlones de Larga Distancia

David S Rowlands¹ y Stuart D Houltham¹¹School of Sport and Exercise, Massey University Wellington, Wellington, New Zealand

RESUMEN

La ingesta de bebidas que contienen carbohidratos de transporte múltiple (2: 1 glucosa: fructosa) en tasas elevadas (>78 g/h⁻¹) durante el ejercicio de resistencia aumenta la oxidación de carbohidratos exógenos, la absorción de líquidos, el confort del intestino y el rendimiento. Durante las competencias de resistencia de larga distancia, los atletas prefieren un formato sólido-gel-bebida, pero se desconoce cual es el tamaño del efecto de los carbohidratos de transporte múltiple.

Objetivo: Determinar el efecto de carbohidratos de transporte múltiple en el rendimiento de triatlones cuando se ingieren en forma de barras, geles y bebidas. **Métodos:** Se realizó un estudio controlado aleatorizado en doble ciego donde participaron 74 triatletas masculinos bien entrenados (de 18 a 60 años con experiencia en competencias > a 2 años) que compitieron en dos triatlones medio Ironman realizados en categoría nacional y celebrados con tres semanas de diferencia. Los carbohidratos utilizados fueron glucosa/maltodextrina: fructosa (relación 2: 1) o carbohidratos isocalóricos estándar (sólo glucosa o maltodextrina) y fueron ingeridos antes (94 g) y durante las etapas de ciclismo (2,5 g/km) y de carrera (7,8 g/km), con un promedio de 78,6±6,6 g/h, administrados en forma de barras (25%), geles (35%) y bebidas (40%). Después de la carrera se completó una escala de tipo Likert de 0-10 unidades para evaluar el confort intestinal y la energía.

Resultados: El estudio arrojó una baja tasa de abandono (9%), elevado cumplimiento y sensibilidad (error típico 2,2%). El efecto de los carbohidratos de transporte múltiple en el tiempo de rendimiento fue -0,53% (IC del 95%: -1,30%, 0,24%, umbral de beneficios bajo -0,54%), con un análisis de riesgo basado en probabilidad a favor de la implementación (beneficio:daño 48,9%:0,3%; Cociente de probabilidad 285: 1). Los ajustes de las covariables, peso corporal antes del ejercicio y estrés por calor tuvieron un impacto insignificante en el rendimiento. Los carbohidratos de transporte múltiple posiblemente disminuyeron las náuseas durante la etapa de natación y de ciclismo mientras que el efecto sobre el confort intestinal y la energía percibida fue insignificante. **Conclusiones:** La ingesta de carbohidratos de transporte múltiple (2:1 maltodextrina/glucosa: fructosa) en comparación con la ingesta de carbohidratos de transporte simple ingeridos en diferentes formatos aportó un pequeño beneficio para el rendimiento de triatlón de larga distancia, lo que se infirió como una estrategia que vale la pena implementar. Los estudios aleatorios realizados en competencias con tamaños muestrales grandes ofrecen validez ecológica, un gran compromiso y cumplimiento de los participantes y gran sensibilidad para evaluar las intervenciones vinculadas a la salud y el rendimiento en atletas.

Palabras Clave: glucosa, fructosa, SGLT1, maltodextrina, confort intestinal

INTRODUCCIÓN

Las observaciones prácticas y empíricas realizadas desde 1920 aportan evidencia convincente de que la ingesta de carbohidratos exógenos durante el ejercicio de alta intensidad prolongado es ergogénica (17, 37). Datos más recientes sugieren que es probable que el rendimiento pueda mejorar aún más cuando el carbohidrato ingerido es una mezcla de fructosa y glucosa, que se caracteriza por la propiedad de acceder a múltiples rutas de transporte de hexosas a través del epitelio gastrointestinal (17, 29). De hecho, las bebidas compuestas por fructosa-glucosa (y el polímero de glucosa, maltodextrina) mejoraron el confort intestinal, las velocidades de oxidación de los carbohidratos exógenos y el rendimiento de resistencia, en comparación con un solo sacárido isoenergético (29).

Los mecanismos que sustentan la mejora en el confort intestinal y las tasas de oxidación observada con los compuestos de fructosa-glucosa probablemente incluyen un vaciado gástrico más rápido (18) y la absorción de monosacáridos por parte de la mucosa (33), siendo esta última la vía el acceso de múltiples rutas de transporte de hexosas (es decir, carbohidratos de transporte múltiple): Co-transportador de glucosa 1 dependiente de sodio (SGLT1) para glucosa, y GLUT5 para fructosa (29). El transporte sinérgico adicional de fructosa y glucosa (31, 33) puede implicar un mayor reclutamiento del transportador facilitador de membrana GLUT2 (21), y otros transportadores del epitelio intestinal (por ejemplo GLUT8, GLUT12 (4)). La absorción intestinal más rápida de los carbohidratos de transporte múltiple puede disminuir la incomodidad intestinal debido al aclaramiento del carbohidrato residual, que junto con la mayor disponibilidad de carbohidratos exógenos, son probablemente los dos mecanismos responsables del mejor rendimiento de resistencia (29, 33).

Los estudios previos han analizado la eficacia de los carbohidratos de transporte múltiple vs los de transporte individual presentes las bebidas utilizadas para el rendimiento. Sin embargo, muchos atletas de resistencia ingieren carbohidratos durante la competencia en forma sólida (barras, frutas, artículos de panadería), geles y bebidas (24), una práctica que ha conseguido un apoyo rápido y entusiasta del mercado comercial. Sin embargo, contrastes empíricos limitados del efecto del formato de carbohidratos, sugieren que los sólidos y geles pueden afectar el rendimiento, en relación con las bebidas (5, 32) o pueden tener un impacto insignificante (2). Por consiguiente, se requiere evidencia que pueda ser generalizada para aclarar si los carbohidratos de transporte múltiple ingeridos en diferentes formatos como los preferidos por los atletas de resistencia son ergogénicos en las competencias.

Así, el objetivo del presente estudio fue determinar si la ingesta de barras, geles y bebidas que contenían 2: 1 glucosa /maltodextrina: fructosa producía un aumento significativo en el rendimiento durante las competencias de triatlón de medio ironman, en comparación con la ingesta de un carbohidrato isocalórico (sólo glucosa/maltodextrina) en condiciones de doble ciego. Los carbohidratos fueron ingeridos en tasas aparentemente óptimas (34) por una gran muestra de triatletas varones experimentados, altamente entrenados y heterogéneos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño Experimental

El estudio se realizó siguiendo un diseño con aleatorización en doble ciego, cruzado que abarcó las competencias de dos triatlones Medio Ironman realizados con tres semanas de separación (Figuras 1 y 2). El estudio se realizó en Nueva Zelanda a mediados de verano. La primera carrera fue el *Taupo Half Ironman* (Taupo; <http://www.halfironmantaupo.co.nz/>) celebrado el 14 de diciembre de 2013; el segundo evento fue el *Tauranga Half Ironman* (Tauranga, <http://mountfestival.kiwi/events/port-of-tauranga-half/>), celebrado el 4 de enero de 2014. Cada medio ironman comprendía una etapa de natación de 1,9 km, una etapa de ciclismo de 90 km y una etapa de 21,1 km de carrera. Ambos eventos fueron sancionados y ejecutados bajo las reglas de competencia del comité nacional (Triatlón Nueva Zelanda, <http://triathlon.kiwi/events/tri-nz-race-rules.html>).

Participantes y Centros

El reclutamiento se realizó entre el 1 de septiembre y el 15 de noviembre de 2013 dentro de la comunidad de triatlón de Nueva Zelanda a través de comunicaciones efectuadas por correo electrónico o de boca en boca entre los miembros de Triatlón Nueva Zelanda, los clubes de afiliados y las bases de datos del evento. Los criterios de inclusión fueron: varones de entre 18 y 60 años, antecedentes de rendimiento en triatlones competitivos ≤ 2 años, haber participado en al menos 4 eventos de triatlón en los últimos 2 años, y tener un mejor tiempo promedio en ironman ≤ 5 h 40 min para quienes tenían 18-40 años, ≤ 5 h 50 min para quienes tenían 40-50 años o ≤ 6 h 05 min para aquellos participantes de 50-60 años. Los

criterios de exclusión fueron: falta de cumplimiento de los requisitos sanitarios (cuestionario general de salud), intolerancia conocida previa a la fructosa o al trigo, tener alergias alimentarias o alergias relacionadas con envases, existencia de lesiones que pudieran afectar la capacidad de completar las carreras, mala tolerancia al tratamiento durante las sesiones de familiarización, consumo de medicamentos que pudieran interferir con los resultados del estudio. Las mujeres fueron excluidas debido a la introducción de variabilidad adicional debida a la fase del ciclo menstrual. Los triatletas que cumplieron con los criterios de inclusión otorgaron su consentimiento por escrito siguiendo lo establecido en el protocolo aprobado por el Comité de Ética Humana de la Universidad Massey (SA: 13/46). Una vez iniciado el estudio, los criterios de abandono de los participantes incluyeron: razones médicas, ausencia de cumplimiento del protocolo de tratamiento o de la competencia y lesiones que afectaban el rendimiento (Figura 1). Los participantes que abandonaron no fueron reemplazados.

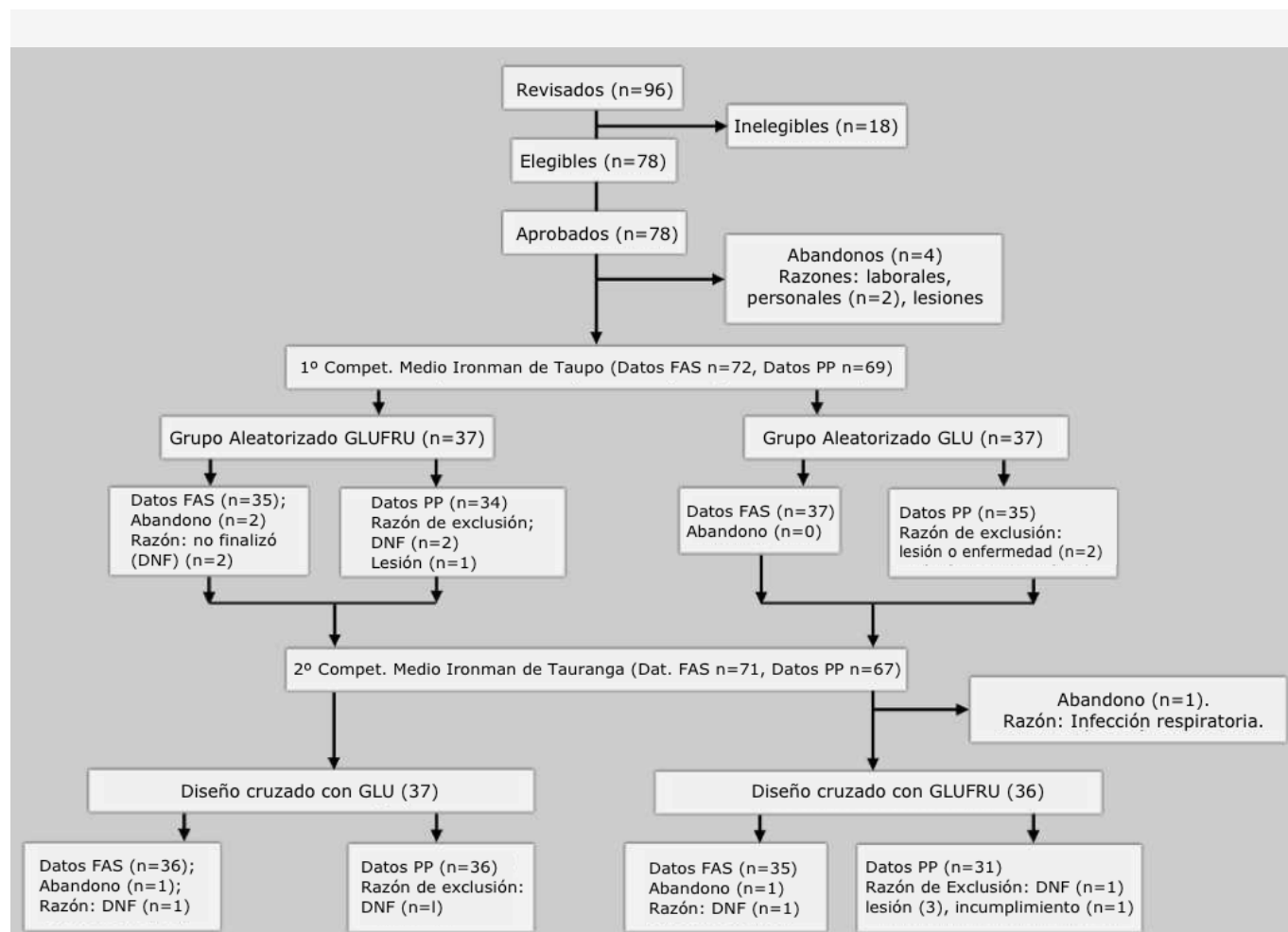


Figura 1. Diagrama de flujo del estilo Consort que resume el diseño del estudio y el progreso de los participantes durante el mismo. Se muestra la cantidad de participantes revisada (paréntesis), inscriptos y que pasaron a través de cada componente del estudio. También se presenta la cantidad de participantes en cada etapa del estudio y la cantidad y las razones por las cuales se produjeron los abandonos en el conjunto de datos de análisis completo (FAS) y en el conjunto de datos por protocolo (PP), respectivamente. Los participantes que experimentaron incidentes que pudieran afectar el tiempo de carrera fueron considerados en la variación del PP. La cantidad de participantes en el análisis de la competencia hace referencia al tamaño de la muestra disponible para el análisis del tiempo final; El tamaño de la muestra disponible para el análisis de cada etapa del triatlón se proporciona en la Tabla (3). DNF=no terminó.

Pruebas de familiarización

Los participantes realizaron tres sesiones de familiarización entre 3 y 6 semanas antes del primer triatlón en sus ciudades de origen (Figura 2). Las sesiones consistieron en un ejercicio de ciclismo de 2 h seguido inmediatamente por una carrera de una hora mientras consumían simultáneamente el suplemento diseñado para la intervención con la misma tasa de ingesta de carbohidratos (1,4 g/min) y fluidos (700 ml/h) y la misma relación de formatos (25% barra, 35% gel, 40% bebida) que utilizarían en el protocolo experimental. Inmediatamente después de cada sesión, los atletas completaron la

hoja de cumplimiento y un cuestionario de confort gastrointestinal que se utilizaría durante el estudio y las mismas fueron enviadas a los investigadores.

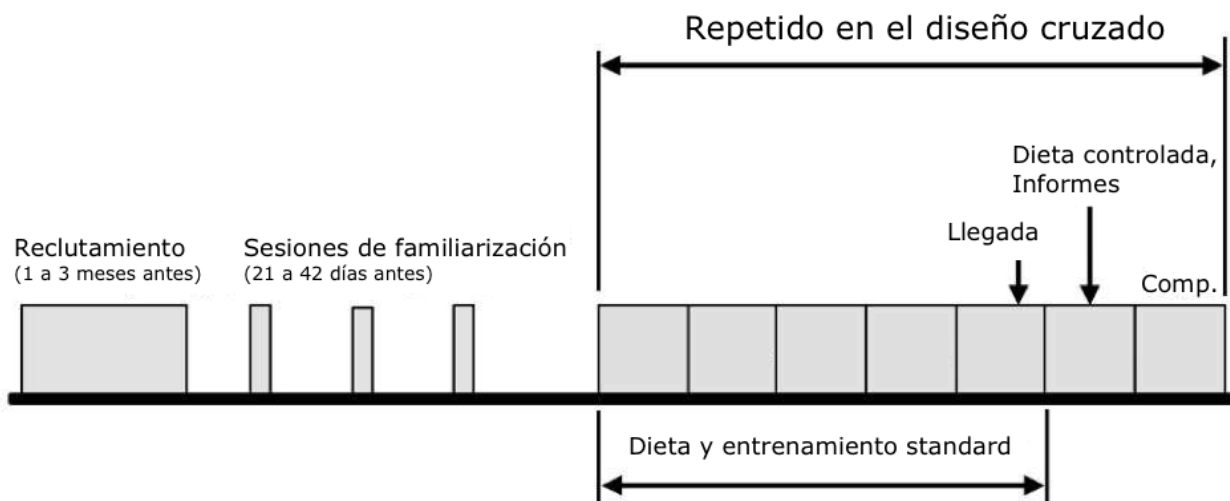


Figura 2. Diseño experimental. Se muestra el período de reclutamiento, 3 sesiones de familiarización y el período de 5 días de dieta y entrenamiento normalizado antes de la dieta controlada pre-evento que se implementó en el lugar de la carrera 24 horas antes del evento, y finalizando el día de del evento. Este período fue repetido en la aplicación del diseño cruzado

Entrenamiento y dieta

Durante el proceso de selección, los participantes completaron una encuesta sobre los antecedentes de entrenamiento, que incluía los años de participación en el deporte, historial de carreras y los mejores tiempos de rendimiento en triatlón, una estimación cualitativa del tiempo promedio de entrenamiento de natación, ciclismo, carreras, etc. por semana y los antecedentes de malestar gastrointestinal. En la semana previa a la primera competencia, los participantes registraron la duración de todos los entrenamientos de natación, ciclismo y carreras en las zonas de entrenamiento baja, moderada y alta que se realizaron 5 días antes del primer triatlón a través de una encuesta cualitativa con intensidad categorizada en función del esfuerzo percibido, y anotaron los detalles de la sesión (por ejemplo, velocidad, potencia, cantidad de intervalos) (Figura 2). Se solicitó a los participantes que replicaran este entrenamiento en el mismo período antes del segundo medio Ironman. Los participantes fueron alojados en hoteles para controlar la ingesta dietética antes de la carrera, el estrés por el viaje y para coordinar la logística de la carrera. Los costos de alojamiento, viaje y carrera fueron contemplados dentro del diseño de la investigación.

Los participantes fueron autorizados a comer como de costumbre y a tomar sus medicamentos habituales con excepción de la dieta del día anterior a la carrera que fue controlada y donde todas las comidas, bebidas y bocadillos fueron entregadas a los participantes (Figura 2). Se solicitó a los participantes que ingirieran alimentos y bebidas que aportaran al menos 8,5 g de carbohidrato por kg de peso corporal y al menos 50 ml por kg de peso corporal de fluido. El propósito de la dieta controlada fue obtener reservas altas de glucógeno en los músculos y en el hígado, y controlar estrechamente las condiciones dietéticas previas a la carrera. Los artículos ingeridos se registraron en una hoja de registro según el método de tamaño de porción que incluía información sobre el peso de carbohidratos e información sobre el volumen de fluidos. Los participantes podían elegir sus alimentos y bebidas a partir de una variedad de opciones de catering o pre-empaquetadas. No se les permitió consumir ninguna otra comida o bebida. Todas las porciones fueron homogéneas y pesadas. Los alimentos y las porciones registrados en la hoja de registro dietario fueron replicados el día antes del segundo triatlón.

Prueba Experimental

Luego de despertar y de realizar la higiene matutina, los participantes acudieron a la sede del estudio entre las 04:00 y las 04:40 h del día de la carrera para la medición del peso corporal antes del evento (*Tanita BC532, Tanita Health Equipment HK Ltd, Hong Kong, China*) marcado del cuerpo en función del suplemento, retiro del suplemento de transición y desayuno. El desayuno fue consumido entre las 04:40 y las 05:10 h y consistió en 700 ml de bebida deportiva con 7% de carbohidratos y una barra de estudio específica siguiendo la asignación aleatoria al tratamiento. En conjunto, la bebida y la

barra pre-ejercicio contenían un total de 94 g de carbohidratos. Para estandarizar el efecto de la cafeína sobre el rendimiento, se mezclaron con agua caliente dos *sachets* de 1,8 g de café instantáneo (*Nescafe, Nestlé, Auckland, Nueva Zelanda*) y se consumieron con el desayuno. A continuación, los participantes viajaron al lugar donde se realizaría el evento para cargar las botellas que contenían el suplemento experimental en los respectivos porta-botellas en la bicicleta de carrera y en las correas que se utilizarían durante la etapa de carrera. La cohorte compitió con todos los otros atletas inscriptos que no formaban parte del estudio siguiendo las reglas y condiciones establecidas por los organizadores del evento. Se les indicó a los participantes que se detuvieran únicamente en las estaciones de alimentación experimentales y que cumplieran estrictamente con el protocolo de alimentación del estudio y los reglamentos de los eventos. La temperatura y la humedad relativa del aire se obtuvieron de las estaciones meteorológicas locales (*Metservice, Wellington, Nueva Zelanda*).

Intervención Nutricional

El contenido de carbohidratos de los suplementos de intervención fue glucosa/maltodextrina: fructosa (GLUFRU) en una proporción 2:1. Los suplementos de control fueron formulados a partir de glucosa/maltodextrina solamente (GLU). Utilizamos una proporción de suplementos igual a 2:1 para permitir comparaciones, cuando fuera posible, con investigaciones previas de laboratorio y de campo que hubieran investigado los efectos de carbohidratos de transporte múltiple sobre el metabolismo y el rendimiento (1, 14-16, 18, 28, 30, 36, 39).

Los suplementos utilizados en la intervención fueron adaptaciones de barras sólidas, geles semilíquidos y productos de bebida en polvo disponibles comercialmente que fueron preparados por el financiador del estudio. Los ingredientes presentes en la barra fueron: jarabe de fructosa-glucosa, maltodextrina, copos de avena, proteínas de la leche, *crisps* de arroz, preparación a base de frutas (jarabe de fructosa, lactosa, manzana, pectina como agente gelificante, saborizante, grasa vegetal, ácido cítrico), citrato de sodio, aceite vegetal, carbonato de magnesio, ácido cítrico, aromatizante y sal. El gel estaba compuesto por 65% de carbohidratos y contenía: concentrados de zumo de frutas, maltodextrina, agua, fructosa, citrato de sodio, cloruro de sodio, conservantes (benzoato de sodio, sorbato de potasio) y aromatizantes. El polvo de mezcla para bebidas contenía: glucosa, fructosa, maltodextrina, minerales (citratos de sodio, cloruro de sodio, gluconato de calcio, cloruro de potasio, citrato de magnesio, lactato de calcio), ácido cítrico, aromatizante, concentrado de cártamo y anti aglutinante (dióxido de silicio). La barra, el gel y la bebida de glucosa-maltodextrina utilizados como control fueron elaborados isocalóricamente en los mismos formatos, sabores y textura pero la fructosa fue sustituida por glucosa. Todos los suplementos fueron almacenados a temperatura ambiente. Las barras y los geles estaban completamente empaquetados e identificados por un código único específico para la fórmula GLUFRU o GLU, y la identificación del código fue conservada por terceros.

Metodología de cegamiento, aleatorización y codificación.

La condición de doble ciego se logró mediante la utilización de un sistema de aleatorización de cuatro colores. Los colores utilizados fueron verde, azul, amarillo y negro. Las secuencias de color fueron asignadas por un tercero al azar (incluso la ponderación) al número de participante antes de la primera carrera (*Nestle Research Center*) independiente de los procesos experimentales y del contacto con los participantes. La secuencia de color fue re-aleatorizada en la segunda competencia. La asignación del código de tratamiento con el color correctamente asignado al azar fue verificada y firmada por un tercero (en el sitio de investigación) para asegurar la asignación correcta del tratamiento. El revelado de los códigos se produjo antes del análisis estadístico el 6 de junio de 2014 después de realizar la evaluación de los abandonos, los atletas DNF, los ajustes de tiempo y el cierre de la base de datos.

Protocolo de alimentación

Los participantes ingirieron bebidas deportivas, agua, barras deportivas y geles deportivos siguiendo un cronograma basado en la unidad de distancia recorrida entre las estaciones de alimentación. La cantidad proporcional de bebidas (40%), barras (25%) y geles (35%) con 7% de carbohidratos y la tasa de ingesta total de carbohidratos fueron establecidas en función de la ingesta de suplemento observada durante una competencia previa de medio Ironman (24) y un valor de 84 g/h (1,4 g/min) que se encontraba dentro del rango superior para una estimación de la tasa de ingesta total de carbohidratos media óptima para un rendimiento de 78 g/h (95% CI, 68 a 88 g/h) (34) y la utilizada en nuestro estudio de campo anterior (30). La ingesta total de líquidos fue de 700 ml/h y fue seleccionada a partir de estudios previos de laboratorio y de campo como una cantidad que podría limitar la pérdida de peso corporal por debajo del 3%, lo que probablemente no afectaría el rendimiento (24, 30, 38). La cantidad total de carbohidratos (392,5 g) y de fluidos (2927 ml) que debían ser consumidos se calculó a partir de la tasa de consumo y del tiempo medio de finalización de la presente cohorte experimental en los 3 eventos de medio Ironman previos de natación (37 min 51 s), ciclismo (2 h 30 min 4 s), carrera (1 h 40 min 50 s) y final (4 h 48 min 45 s). La cantidad total de fluido se distribuyó uniformemente entre una bebida con 7% de carbohidratos (2007 ml) y agua (920 ml), donde la bebida de carbohidratos y el agua se ingirieron a lo

largo de los triatlones en una proporción de 2,18: 1.

Estaciones de alimentación y cronograma de alimentación.

La ingesta de suplementos durante los triatlones se controló a través de colecciones codificadas de los tratamientos con colores distribuidas en 6 puntos de alimentación puntos que se resumen en el Contenido Digital Suplementario 1 (Ver Tabla SDC 1, ubicación de las estaciones de alimentación y la cantidad de suplementos de carbohidratos recogidos en cada estación en los dos triatlones de medio Ironman, <http://links.lww.com/MSS/A905>). La primera estación se ubicó en el área de transición natación-ciclismo, donde los participantes recolectaron las unidades de barras y geles, y 2 botellas de bebida de 700 ml que fueron cargadas en 2 porta botellas. La segunda estación se ubicó aproximadamente tres cuartos de distancia en la etapa de ciclismo. La tercera estación se ubicó en el área de transición entre ciclismo-carrera, momento en el cual los participantes recogieron sus cinturones de carrera cargados y las porciones en forma de barras. Durante la carrera, los atletas recibieron cinturones de combustibles (*Profile Design, Long Beach, CA*) con una capacidad para 2 botellas de 225 ml de bebida. Las últimas 3 estaciones de alimentación fueron ubicadas en áreas seguras (de gestión del tráfico) uniformemente espaciadas a lo largo de la carrera. Los asistentes de investigación llevaban camisetas de color para favorecer la adecuada recolección de los suplementos asignados. Las ubicaciones y el diseño de las estaciones de alimentación se presentan en SDC 2 (ver Figura, SDC 2, Lugares y diseño de las estaciones de alimentación utilizadas en el estudio, <http://links.lww.com/MSS/A906>).

La localización y la logística de seguridad provocaron pequeñas diferencias entre las dos competencias en la ubicación de las estaciones de alimentación en el recorrido. Por consiguiente, los volúmenes de fluidos fueron ajustados según la tasa de entrega de carbohidratos y de suministro de fluidos entre cada estación (ver Tabla, SDC 1, Ubicación de la estación de alimentación y cantidad de suplemento de carbohidratos recolectada en cada estación en los dos triatlones de medio Ironman, <http://links.lww.com/MSS/A905>). El control preciso de la tasa de ingesta entre las estaciones de alimentación no fue posible debido a límites prácticos del estudio de campo actual. Sin embargo, se les indicó a los participantes que ingirieran el suplemento de forma regular entre las estaciones de alimentación en intervalos de 10 min.

Supervisión del cumplimiento.

La ingesta completa de suplementos fue controlada durante las dos carreras mediante inspección y medición del residuo. Las envolturas de las barras de desayuno y las botellas de las bebidas fueron codificadas individualmente y recogidas al final, a medida que los participantes abandonaban el área de cena. La suplementación en la transición a ciclismo se codificó individualmente (2 botellas de bebida, 1 barra, 2 geles). Antes de llegar a todas las estaciones de alimentación, se les indicó a los atletas que consumieran todas las unidades de suplementos y el volumen de bebida que habían recogido en el punto de aprovisionamiento previo, y esto fue verificado verbalmente por el participante y por los investigadores mediante inspección visual antes de entregar los suplementos de reemplazo. Las botellas de bebidas y envolturas recogidas en la estación de alimentación de ciclismo permanecieron junto con la bicicleta en la zona de transición, donde se comprobó el cumplimiento después de la carrera (incluyendo la medición cuantitativa de cualquier volumen residual). Las unidades de suplemento ingeridas entre la transición hacia la etapa de carrera y la primera estación de alimentación durante la etapa de carrera se marcaron individualmente, y se comprobó su consumo en la primera estación de alimentación de la etapa de carrera antes de que se proporcionara nuevo suplemento. Los geles recogidos en la primera, segunda y tercera estación de alimentación se consumieron dentro de los 500 m. A los 500 m después de la estación de alimentación, la envoltura fue recogida dentro de una zona de descarte designada por los investigadores para el registro de cumplimiento. En la línea de meta, se comprobó el consumo completo de los fluidos recogidos en la tercera estación de alimentación establecida durante la carrera inmediatamente después de cruzar la línea de finalización.

Cuestionarios realizados luego de los triatlones

Al finalizar la competencia, los participantes fueron acompañados a los baños y luego a la carpa de estudio para medir el peso corporal después de la carrera y completar una encuesta psicométrica. Se utilizó la escala de Likert con valores de 0-100 en la encuesta post-carrera para evaluar el confort estomacal, las náuseas y el nivel de energía durante cada etapa del triatlón.

Recopilación, tratamiento y validación de los datos

Todos los datos se verificaron con exactitud y luego se cargaron en una base de datos segura que se alojó en Internet. Todos los datos computarizados fueron revisados por un tercero para comprobar cualquier discrepancia, y los investigadores realizaron las correspondientes enmiendas, en los casos en que fuera necesario, antes de que un investigador externo realizara un chequeo secundario y firmara el control.

Metodología estadística

Tamaño de la muestra

Con el fin de tener una estimación realista de la desviación estándar intra-sujeto y el tamaño del efecto de la ingesta de GLUFRU, se analizaron los datos de los triatlones de medio Ironman de Taupo y Tauranga de 2012. Se contactó a 27 atletas que participaron en ambas competencias en 2012. Estos atletas fueron 28 minutos más rápidos en la competencia Tauranga, lo que se puede interpretar como efecto del período. Se calculó una desviación estándar intra-sujeto de 14,5 min (IC del 95%, 11,0 a 19,0 min). El cálculo del tamaño de la muestra presentado en la fase de sinopsis arrojó una cantidad de 65 sujetos ($n = 65$) para la inferencia mediante el test de hipótesis nula tradicional utilizando un Test t de muestras pareadas y un análisis con un 80% de potencia y un nivel de alfa de 5%. Otros análisis encontraron un coeficiente de variación del 1,8% para el triatlón de distancia olímpica (23). Hopkins et al. (8) argumentaron que un coeficiente de variación de 0,5 veces (IC del 90% 0,3 a 0,7 veces, más tarde actualizado a $0,3 \times CV$ (9)) era una apropiada diferencia relevante mínima (que mejora si se ubica por encima del error estándar entre competencia y competencia). En el caso de un diseño cruzado, la diferencia más pequeña fue, por lo tanto, de $1,8\% \times 0,5$ y la desviación estándar dentro del sujeto fue de $1,8\% \times \sqrt{2}$. Utilizando el efecto del 3% observado por Currell y Jeukendrup (3) (10 minutos con respecto al tiempo medio de finalización del medio Ironman) y utilizando una estimación de desviación estándar dentro del sujeto de 14,5 min, el análisis aplicando el test t de muestras pareadas a los datos de $n = 25$ sujetos puede mostrar este efecto como estadísticamente significativo con un nivel alfa del 5% y una potencia del 90%. El tamaño de muestra de $n = 65$ seleccionado a priori puede detectar una diferencia de hasta 6 min como estadísticamente significativa frente a la hipótesis nula con una potencia del 90%. El diseño cruzado fue el único modelo experimental factible dentro de una competencia abierta debido a la disponibilidad de los participantes, la logística y el presupuesto. La cohorte de estudio significó un total de 10,0 % y 10,9 % de los participantes que participaron en los triatlones de Taupo y Tauranga, respectivamente.

Método general

El efecto de la ingesta de GLUFRU en los resultados se estimó a través de un análisis de la varianza con modelo mixto por medio del paquete nlme para R 3.0.1. En el análisis de las etapas del triatlón y del tiempo total de rendimiento, el tiempo total de finalización fue la variable principal; el tratamiento, el peso antes de la carrera y el triatlón (efecto período) fueron los efectos fijos y el sujeto fue el efecto aleatorio. Para efectuar el análisis, el tiempo fue transformado en minutos y fracciones de minuto. Después del análisis del conjunto completo de datos (FAS), los datos ajustados por covariable (condiciones ambientales), abandonos y moderadores (cambio de peso corporal, ajustes para eventos mecánicos) fueron interpretados mediante un análisis por protocolo (PP). La incertidumbre se presentó como límites de confianza del 95%. Se utilizó una metodología basada en la probabilidad (intervalo de confianza) para inferir utilizando umbrales de magnitud de efecto clínico, y las probabilidades fueron calculadas a partir de una hoja de cálculo (www.sportsci.org/resource/stats/xcl.xls). Los umbrales inferenciales se establecieron en base al rendimiento siguiendo el criterio intra-sujeto para la variable principal (umbrales de decisión en relación al mínimo efecto significativo sobre el rendimiento que definimos previamente) (8, 9) y el criterio entre-sujetos como la diferencia estandarizada para las variables secundarias (confort intestinal y niveles de energía); Donde los tamaños de efecto fueron triviales 0,0-0,2, pequeños 0,2-0,6, moderados 0,6-1,2 o grandes 1,2-2,0 (7, 9).

RESULTADOS

Respuesta de los participantes y tratamiento de la cohorte de análisis

En el diagrama de flujo que presentamos en la Figura 1 se muestra la disposición de los participantes durante el reclutamiento y a lo largo del estudio. De los 78 participantes inscriptos, 4 se retiraron antes de la primera competencia y otros 4 se retiraron después de la primera competencia, o no finalizaron, por lo que 71 participantes comenzaron la segunda carrera, con una tasa final de deserción del 9%. El abandono del estudio antes de la competencia se produjo a causa de enfermedad, razones personales y lesiones. Dos abandonos durante la competencia (DNF) se produjeron por problemas mecánicos de la bicicleta y lesión en las piernas. Todos los participantes que completaron las competencias fueron incluidos en el conjunto de datos de análisis completo (FAS, no se presentan por causa de espacio). Los eventos mecánicos sustanciales o las lesiones físicas no relacionadas con el producto del estudio (tensión en los músculos de las piernas, ataque de asma) que afectaban el rendimiento fueron excluidos del conjunto de datos del Protocolo Per (PP). Los tiempos de los atletas se ajustaron dentro del conjunto de datos del PP debido a infracciones a las reglas de la competencia que condujeron a penalizaciones conocidas fijas de tiempo (por ejemplo penalización de 3 minutos por realizar *drafting* en la bici, 15 s por sacarse el casco demasiado pronto) y a desperfectos mecánicos o pinchaduras que requirieron detenerse para realizar cambios (10 min). Los tiempos estimados para reparar una pinchadura no se consideraron suficientemente objetivos, por lo que se decidió otorgar un valor de 10 minutos de retraso para los 4 casos.

Los 74 participantes que comenzaron la primera carrera tenían una experiencia de $10,2 \pm 7,9$ años en triatlón con valores que iban de 1 a 33 años. Además, estos participantes habían completado previamente $4,3 \pm 2,5$ triatlones de medio Ironman (rango 1-10). El mejor tiempo en medio Ironman de este grupo fue $04:50:50 \pm 00:24:13$ (h:m:s), con valores comprendidos entre 03:52:03 y 05:46:46. La Media \pm SD del volumen de entrenamiento (h/semana) durante los 6 meses previos al reclutamiento en el estudio fue: natación $2,7 \pm 1,3$, ciclismo $5,8 \pm 2,4$ y carrera $3,6 \pm 1,4$. El volumen de entrenamiento medio (h:min) durante los 5 días previos a la competencia Taupo fue: natación $01:40 \pm 00:56$, ciclismo $02:58 \pm 01:53$, y carrera $01:36 \pm 00:57$. Antes de la competencia Tauranga, los volúmenes de entrenamiento fueron: natación $01:38 \pm 00:56$, ciclismo $02:50 \pm 01:44$, y carrera $01:45 \pm 01:01$. Después de la exclusión, los datos demográficos iniciales de los 72 atletas que finalizaron la primera carrera en el estudio cruzado (Taupo) fueron: $179,2 \pm 6,3$ cm, $77,0 \pm 7,8$ kg, $41,3 \pm 9,3$ años.

Dieta previa a la carrera

La Media \pm SD de la composición de macronutrientes de la dieta antes de la competencia de Taupo fue: consumo total de energía 19391 ± 3110 kJ, carbohidratos 768 ± 128 g, grasas 125 ± 28 g, proteínas 133 ± 28 g, fluidos $4,1 \pm 1,0$ litros. La misma composición antes de la competencia de Tauranga fue: consumo de energía total 19207 ± 3068 kJ, carbohidratos 763 ± 134 g, grasas 121 ± 25 g, proteínas 132 ± 29 g, líquidos $4,1 \pm 1,2$ litros. En promedio, las dietas contenían 66% de la energía proveniente de carbohidratos (9,9 g/kg de peso corporal/día), 11% de proteínas y 23% de grasas.

Cumplimiento del tratamiento

Todos los participantes ingirieron todas las unidades de productos proporcionadas por el estudio según lo prescrito, con la excepción de 25-100 ml de bebida residual de carbohidratos en 15 atletas y 30-50 ml de agua residual en 16 atletas en las competencias combinadas. El total de líquidos y carbohidratos ingeridos en ambas competencias fue similar (Tabla 1).

	Media \pm SD	Intervalo de variación
Taupo (n=72)		
Consumo total de fluidos (ml)	2918 \pm 23	2827-2927
Tasa de consumo de fluidos (ml/h)	578 \pm 51	453-714
Cantidad total de carbohidratos consumidos en los suplementos (g)	392 \pm 1	385-392
Tasa de consume total de carbohidratos en la competencia (g/h)	78 \pm 7	61-96
Tasa de consumo de carbohidratos en las etapas de ciclismo y carrera solamente (g/h)	90 \pm 8	72-109
Distribución de carbohidratos en las barras (%)	23 \pm 0	23-23
Distribución de carbohidratos en los geles (%)	41 \pm 0	41-42
Distribución de carbohidratos en las bebidas (%)	36 \pm 0	35-36
Tauranga (n=71)		
Consumo total de fluidos (ml)	2920 \pm 2	2713-2927
Tasa de consumo de fluidos (ml/h)	595 \pm 47	463-716
Cantidad total de carbohidratos consumidos en los suplementos (g)	392 \pm 2	378-392
Tasa de consume total de carbohidratos en la competencia (g/h)	80 \pm 6	62-96
Tasa de consumo de carbohidratos en las etapas de ciclismo y carrera solamente (g/h)	92 \pm 7	77-109
Distribución de carbohidratos en las barras (%)	23 \pm 0	23-24
Distribución de carbohidratos en los geles (%)	41 \pm 0	41-43
Distribución de carbohidratos en las bebidas (%)	36 \pm 0	33-36

Tabla 1. Consumo de fluidos y de carbohidratos en cada triatlón. Los valores totales se obtuvieron luego de realizar las correcciones

Variable principal

Rendimiento. El análisis de los residuos estandarizados reveló la existencia de un valor extremo (> 2 residuos estandarizados en la parcela qq) en la competencia Taupo, que fue eliminado del conjunto de datos PP. En las Tablas 2 y 3 se presentan los datos estadísticos resumidos del efecto de la composición de los carbohidratos en el triatlón y el tiempo total de finalización para el conjunto de datos de PP, y de los triatletas de los cuartiles más rápidos y más lentos. Luego de realizar los ajustes para orden de la competencia y peso corporal pre ejercicio, el efecto medio de la ingesta de GLUFRU-GLU sobre el tiempo de finalización final fue marginalmente pequeño de -0,53% (IC del 95%: -1,30%, 0,24%). Esta inferencia se extrajo del análisis de probabilidad *post-hoc* (7, 9) del intervalo de confianza, lo que permitió evidenciar un posible pequeño beneficio (donde el umbral para el beneficio pequeño fue 0,3 veces el CV: $0,3 \times 1,8\%$ (9)) con una muy baja probabilidad de daño (probabilidad de beneficio: daño 48,87%: 0,33%, probabilidad de beneficio 285: 1). Siguiendo este esquema, la menor relación beneficio:daño que apoya la adopción de la intervención es 66:1 (7). El efecto de GLUFRU-GLU en los tiempos de las distintas etapas fue: natación -0,57% (IC 95% -1,34%, 0,19%); ciclismo -0,42 (IC del 95%: -0,87%, 0,04%); y carrera -0,74% (IC del 95%: -2,77%, 1,31%) (Tabla 3). La magnitud del efecto GLUFRU-GLU fue similar para el 25% de atletas más rápidos (-0,80%, IC 95% -1,97%, 0,38%) y el 25% de los atletas más lentos (-1,19%, IC del 95% -2,76%, 0,39 %). Aunque la posibilidad de cometer error de tipo 1 (probabilidad de daño) fue marginalmente elevada (Tabla 3), las probabilidades de beneficio también fueron favorables para los cuartiles más rápidos (probabilidad beneficio:daño 191: 1) y cuartiles más lentos (278: 1). El rendimiento fue más rápido en el triatlón de Tauranga que en Taupo, pero el efecto moderador del peso antes de la carrera fue comparativamente insignificante (Tabla 3).

Con respecto a los efectos sobre el rendimiento de las otras covariables, el registro del volumen de entrenamiento total de 5 días (pre Taupo 372 ± 159 min, pre Tauranga 373 ± 148 min) contribuyó con el modelo PP pero el efecto fue trivial (-0,02 min, 95% CI -0,05, -0,00) y el efecto moderador sobre la variable principal fue despreciable (efecto ajustado de 5 días de entrenamiento con GLUFRU-GLU en el tiempo final de rendimiento: -1,53 min, 95% CI -4,03, 0,97).

	n	Media± SD	Min	Max
GLU				
Natación (h:m:s)	69	00:35:50 ± 00:04:03	00:26:22	00:47:41
Ciclismo (h:m:s)	72	02:33:11 ± 00:10:49	02:12:38	03:08:35
Carrera (h:m:s)	71	01:46:04 ± 00:14:17	01:18:51	02:29:05
Tiempo de finalización (h:m:s)	71	05:00:31 ± 00:26:19	04:05:51	06:07:39
25% mas rápido	18	04:27:53 ± 00:12:20	04:05:51	04:49:53
25% mas lento	17	05:34:41 ± 00:15:01	05:14:43	06:07:39
GLUFRU				
Natación (h:m:s)	68	00:35:24 ± 00:03:51	00:26:22	00:45:33
Ciclismo (h:m:s)	67	02:32:05 ± 00:09:36	02:12:17	02:51:59
Carrera (h:m:s)	65	01:45:29 ± 00:13:02	01:20:18	02:22:38
Tiempo de finalización (h:m:s)	65	04:58:51 ± 00:23:10	04:05:21	06:04:24
25%mas rápido	16	04:29:24 ± 00:11:52	04:05:21	04:46:22
25% más lento	17	05:26:06 ± 00:13:12	05:09:33	06:04:24

Tabla 2. Tiempos de rendimiento en las etapas del triatlón y tiempo final por grupo y en los atletas en los cuartiles más rápidos y más

lentos.

Los datos pertenecen al conjunto de datos del protocolo PP y se expresan en forma de h:min:s. En el caso de las etapas del triatlón, se utilizaron todos los datos disponibles registrados (incluyendo los de los sujetos que no finalizaron la competencia). En el tiempo de natación no se incluyeron los datos de tres individuos del triatlón Taupo que tuvieron inconvenientes con el chip de la competencia por lo que el tiempo de la transición fue agregado al tiempo en natación.

	Tiempo medio (min.fracción) ^a	Intervalo de confianza (95%)		Inferencia basada en la Magnitud	
		Inferior	Superior	Probabilidad Beneficioso/Trivial/Perjudicial (%) ^b	Cualitativo ^c
Tiempo de finalización total					
GLUFU - GLU	-1,59	-3,91	0,72	48,87/50,80/0,33	Pequeño beneficio posible/muy poca probabilidad de daño
Tauranga - Taupo	-8,68	-11,00	-6,36		
Efecto del peso Pre-competencia	0,42	-0,29	1,12		
25% más rápido	-2,13	-5,29	1,02	65,58/33,46/0,94	Pequeño beneficio posible/poca probabilidad de daño
25% más lento	-3,97	-9,24	1,31	80,83/17,68/1,49	Poco beneficio probable/poca probabilidad de daño
Tiempo individual por etapas (todos los triatletas)					
Natación	-0,21	-0,48	0,07	54,65/45,08/0,28	Pequeño beneficio posible/muy poca probabilidad de daño
Ciclismo	-0,64	-1,33	0,06	29,64/70,36/0,00	Pequeño beneficio posible/muy poca probabilidad de daño
Carrera	-0,78	-2,94	1,39	57,44/31,45/11,11	Poco claro

Tabla 3. Resultados del principal análisis estadístico y del análisis de inferencia post hoc para el efecto de los carbohidratos de transporte múltiple y de las principales covariables como el orden de la carrera y el peso corporal previo a la competencia en los tiempos de las diferentes etapas del triatlón y en el tiempo de finalización para todos los atletas y en los atletas de los cuartiles superiores e inferiores.

Los datos corresponden al conjunto de datos por protocolo. ^aEl tiempo fue convertido a fracciones de un minuto. ^bMenor cambio importante para considerar 0,54% (ver sección Métodos) el valor medio para el tiempo de finalización en la condición GLU (Tabla 2). ^cÚnicamente poco claro: > 25% de probabilidad de que el valor verdadero sea beneficioso, con un cociente de probabilidades beneficio/daño (odds ratio) <66: 1. De lo contrario, las posibilidades son: 0 <0,5% altamente improbable, 0,5-5% muy improbable, 5-25% improbable, 25-75% posible, 75-95% probable, 95-99,5% muy probable, > 99,5% muy probable. Los calificadores del tamaño del efecto fueron: <0,3 × CV (1,8%) trivial, 0,3-0,9 × CV pequeño (9).

Resultados secundarios

Condiciones ambientales y cambio de peso corporal

En la primer competencia la temperatura al comienzo de la etapa de natación (hora de inicio de Taupo a las 06:30 h) fue frío y húmedo (12,5°C, 95% de humedad relativa), pero aumentó bruscamente durante la etapa de ciclismo y de carrera 21°C 65% de humedad relativa a las 11:00 h. Por el contrario, durante el inicio de la etapa de natación en Tauranga la temperatura y la humedad fueron mayores (19°C, 90% de humedad relativa, 06:30 h), pero subieron a niveles similares a mediados de la mañana cuando la mayoría de los atletas estaban terminando. El índice de estrés térmico Media \pm SD (http://www.hpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml) fue de 73,3 \pm 0,2 y 72,9 \pm 0,2 durante los eventos de Taupo y Tauranga, respectivamente. El análisis de regresión lineal reveló que el aumento de 1 unidad en el índice de estrés térmico disminuyó el tiempo de carrera (7,6%). El índice de estrés térmicos en Taupo fue de 0,34 unidades (95% IC 0,31 a 0,37 unidades) más alto que en Tauranga. Simultáneamente, la reducción en el peso corporal total post-competencia vs pre-competencia fue de 14,4% (IC del 95%: 6,7 a 22,1) mayor en Tauranga en comparación con la reducción en Taupo. Sin embargo, tanto el cambio en el peso corporal como en el índice de estrés térmico tuvieron un impacto trivial sobre el efecto GLUFU cuando se incluyeron como covariables (datos no mostrados).

Confort gastrointestinal y esfuerzo físico

Las estadísticas descriptivas sobre la percepción de confort gastrointestinal y de esfuerzo físico determinada después de la carrera y los contrastes entre los tratamientos se presentan en la Tabla 4. Los efectos de GLUFU sobre las variables fueron triviales o no concluyentes, con la excepción de posibles pequeños efectos de reducción en la percepción de náuseas durante las etapas de natación y de ciclismo. Un resumen de los comentarios cualitativos de la encuesta post-carrera sobre el confort gastrointestinal y la respuesta al suplemento se puede observar en el material suplementario SDC 3 (ver tabla, SDC 3, Resumen de los comentarios cualitativos de la encuesta post-carrera sobre el confort gastrointestinal y la respuesta al suplemento, <http://links.lww.com/MSS/A907>). Los datos de la encuesta revelaron una respuesta heterogénea en el malestar gastrointestinal que fue similar en las dos condiciones de carbohidratos. Los participantes informaron casos que iban de ningún malestar a malestar grave (5 informes de 34 comentarios individuales de vómitos o calambres estomacales severos en ambas competencias). Se reportaron una serie de comentarios negativos sobre las barras (21 de 127 comentarios post-carrera, datos no presentados) relacionados con la dificultad para comerlas (aspectos vinculados a la masticación, sequedad en la boca) y 3 comentarios relacionados con vómitos provocados por la ingesta de barras. Tres de los 127 comentarios sobre la ingesta de geles informaron malestar intestinal severo y vómitos durante la etapa de carrera. No se registraron eventos adversos graves.

Etapa del triatlón: percepción	GLUFU ^a	GLU ^a	GLUFU-GLU ^a	Intervalo de Confianza (95%)		Probabilidad Beneficioso/Trivial /Daño (%) ^b	Cualitativo ^c
	Media \pm SD	Media \pm SD	Media	Limite inferior	Limite superior		
Natación: nivel de náuseas	0,3 \pm 0,8	0,7 \pm 1,7	-0,4	-0,8	0,1	60,48/39,44/0,08	Pequeña disminución posible
Natación: incomodidad intestinal	0,5 \pm 1,3	0,7 \pm 1,7	-0,2	-0,6	0,3	31,03/65,99/2,98	Posiblemente trivial
Natación: niveles de energía	5,5 \pm 1,5	5,1 \pm 2,2	0,4	-0,3	1,0	45,49/53,51/1,00	Posiblemente trivial
Ciclismo: nivel de náuseas	1,4 \pm 2,0	1,9 \pm 2,5	-0,5	-1,1	0,2	50,00/49,64/0,36	Pequeña disminución posible
Ciclismo: incomodidad intestinal	2,0 \pm 1,7	2,3 \pm 2,5	-0,3	-0,9	0,4	30,31/67,57/2,11	Posiblemente trivial
Ciclismo: nivel de energía	5,4 \pm 1,6	5,3 \pm 2,3	0,1	-0,5	0,6	19,40/71,54/9,06	Poco claro
Carrera: nivel de náuseas	2,3 \pm 2,6	2,7 \pm 3,0	-0,4	-1,2	0,5	32,66/65,97/1,37	Posiblemente trivial
Carrera: incomodidad intestinal	3,4 \pm 2,6	3,5 \pm 2,9	-0,1	-1,1	0,8	9,15/87,81/3,05	Probablemente trivial
Carrera: nivel de energía	4,1 \pm 2,1	4,5 \pm 2,3	-0,4	-1,0	0,3	43,12/56,13/0,76	Posiblemente trivial

Tabla 4. Resumen de los resultados estadísticos del efecto de los carbohidratos de transporte múltiple en la comodidad gastrointestinal, el nivel de energía y la severidad de las náuseas.

^aLos datos de la escala se ubican entre 0 (más bajo) y 10 (más alto). ^bUmbral de cambio pequeño: $0,2 \times \text{SD}$ del valor medio en la condición GLU.

^cMecanicamente poco claro: > 5% de probabilidad de que el valor real sea sustancialmente positivo para el nivel de energía y negativo para el malestar intestinal y de náuseas y también > 5% de probabilidad de que sea negativo y positivo en la dirección inversa. En los otros casos, las posibilidades fueron: <0,5% altamente improbable, 0,5-5% muy improbable, 5-25% improbable, 25-75% posible, 75-95% probable, 95-99,5% muy probable, > 99,5% altamente probable. Índices del tamaño del efecto: < $0,2 \times \text{SD}$ trivial, $0,2-0,6 \times \text{SD}$ pequeño, $0,6-1,2 \times \text{SD}$ moderado (9).

La correlación entre el confort gastrointestinal y el parámetro de esfuerzo físico y los correspondientes tiempos en las etapas de triatlón se pueden observar en el material suplementario SDC 4 (ver tabla SDC 4, Estimación de la correlación entre las escalas psicométricas para el confort gastrointestinal y los tiempos de las etapas respectivos, <http://links.lww.com/MSS/A908>). En ambas condiciones de tratamiento se observaron correlaciones pequeñas-moderadas (r) entre los tiempos más rápidos y una mayor energía durante natación (GLUFRU -0,26; IC del 95%: -0,46 a -0,03; GLU -0,28; IC del 95%: -0,49 a -0,05) y carrera (GLUFRU -0,45, IC del 95%: -0,62 a -0,24; GLU -0,49, IC del 95%: -0,65 a -0,29). Además, se observó pequeña correlación entre el malestar intestinal y el tiempo de rendimiento durante la etapa de ciclismo al ingerir GLUFRU (-0,23, IC del 95%: -0,44 a 0,00), es decir, la mayor incomodidad se asoció con tiempos más rápidos; en contraste, el patrón se invirtió durante la carrera (0,30; IC del 95%: 0,06 a 0,50). No se realizaron ajustes de multiplicidad y se justificó la interpretación conservadora. Por otra parte, los resultados en las etapas de carrera pueden ser explicados como un esfuerzo acumulativo que no se tuvo en cuenta.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo del presente estudio fue que los carbohidratos de transporte múltiple ingeridos en diferentes formatos provocaron una leve mejora en el rendimiento con una probabilidad muy baja de daño, en relación con los carbohidratos de transporte simple. Además del relativo bajo costo financiero y práctico que tuvo la intervención, estos resultados sugieren que la mejora producida por la estrategia de alimentación con carbohidratos de transporte múltiple es segura y merece la pena que los triatletas que compiten en eventos como el medio Ironman la incorporen.

El presente estudio fue el primer estudio controlado realizado con una muestra de gran tamaño para estimar el tamaño del efecto práctico aplicando una intervención de rendimiento-nutrición cuya eficacia fue comprobada en un análisis de caso en laboratorio con el fin de determinar la eficacia sobre el rendimiento en competencias de triatlón de larga distancia. El estudio alcanzó la validez ecológica y la generalización como estudio aleatorio en competencia sin restricciones para determinar el efecto de una intervención ampliamente difundida comercialmente adoptada por los atletas de resistencia. El proceso de cegamiento fue estricto y permitió eliminar el sesgo de los participantes y de los investigadores. El ejercicio y la dieta fueron controlados completamente durante las 24 horas previas al muestreo. El cumplimiento fue registrado y se comprobó que había sido muy alto. Por lo tanto, el diseño y las características únicas que se analizaron pueden hacer frente a los principales reclamos planteados recientemente a las investigaciones sobre nutrición deportiva basadas en evidencia (6).

En primer lugar, la magnitud de la mejora del rendimiento promedio observada previamente en estudios de laboratorio con bebidas que contenían carbohidratos de transporte múltiple (es decir, un beneficio promedio de 1-8%) (29) no se tradujo inmediatamente al formato mixto de alimentos en competencia; pero el análisis del diagrama de bosque de las diferencias estandarizadas (véase la Figura 1B en la referencia (29)) en 6 de 8 estudios previos revelan una superposición del intervalo de confianza dentro del tamaño de efecto pequeño-trivial. Si bien la estimación actual es más precisa que los estudios de laboratorio previos (intervalo de confianza estrecho), en conjunto, los resultados sugieren que el efecto real de los carbohidratos de transporte múltiple en la población es pequeño y se encuentra cercano al umbral de lo que se considera como una estrategia que “vale la pena su adopción”, apoyado por una muy baja probabilidad de producir daño. Tales hallazgos en el mundo real son importantes y relevantes para que los triatletas y otros investigadores puedan establecer con bastante exactitud el resultado real probable de la intervención. En otras áreas de investigación, los datos de laboratorio prometedores revelan una estimación exagerada del efecto en el mundo real, por ejemplo; suplementos de aceite de pescado provocan una mejora en la supervivencia de pacientes con infarto de miocardio previo o insuficiencia cardíaca, pero en un estudio clínico de gran tamaño ($n = 12513$) el aceite no logró reducir las tasas de mortalidad cardíaca

en pacientes con múltiples factores de riesgo cardiovascular o enfermedad vascular aterosclerótica (27).

Por otra parte, el tamaño del efecto para la diferencia media fue menor de lo esperado pero varios parámetros de los diseños utilizados pueden ayudar a explicar la discrepancia en los efectos medios entre los estudios. En primer lugar, el aumento porcentual medio relativo de los carbohidratos de transporte múltiple aumentó a medida que aumentaba la tasa de ingesta media (29). Los dos estudios sin intervalo de confianza dentro de la diferencia estandarizada trivial fueron publicados por Currell y Jeukendrup (3) y Triplet et al. (36). Estos autores reportaron aumentos de potencia media del 8% (IC del 95% 4,8, 12,1%) y del 7,5% (IC del 95% 1,3, 14%) con glucosa:fructosa concentrada (14,4%) hipertónica (~ 800 mOsmol/kg) en comparación con soluciones con glucosa que fueron ingeridas en una tasa promedio de 1,8 y 2,4 g/min, respectivamente. Estas tasas de ingesta provocaron un malestar gastrointestinal altamente severo (previamente vinculado con el deterioro del rendimiento (3, 30, 36)), que fue mas severo que con la glucosa solamente (15, 36). Por otro lado, Baur et al. (1) informaron un aumento de rendimiento del 3,1% (95% CL -0,2, 6,4%) por el consumo de una bebida con glucosa:fructosa vs solo glucosa con una tasa de 1,6 g/min, pero no se observó ningún beneficio de los carbohidratos de transporte múltiple frente a la glucosa ingeridos a 1,0 g/min, y una mayor tasa de ingesta de glucosa (1,6 g/min), redujo relativamente el tiempo de rendimiento. Aunque hubo algunos informes de malestar gastrointestinal severo (vómitos, calambres intestinales) en el presente estudio; en su conjunto, la diferencia en cuanto al tipo de carbohidrato fue menor, observándose sólo una pequeña reducción general posible en las náuseas observadas (efecto medio de GLUFRO-GLU en natación-ciclismo-carrera de -0,4 unidades de escala, IC del 95% -1,2 a 0,3 unidades). Por otra parte, los niveles de energía no se vieron afectados por el tipo de carbohidratos, lo que indica niveles netos de absorción similares entre los carbohidratos. Por el contrario, el consumo de una bebida con glucosa-fructosa en un promedio de 1,4-1,5 g/min no tuvo un efecto claro sobre las náuseas en una competencia de *mountain bike*, pero disminuyó las náuseas en comparación con la glucosa solamente (unidades en una escala equivalente -0,6, IC del 95% -9,4 a - 2,4) en ejercicios de sprints repetidos realizados en pruebas de ciclismo de resistencia en el laboratorio, (30). Estos datos revelaron una asociación del tamaño de efecto de los carbohidratos de transporte múltiple entre la tasa de ingesta de carbohidratos y el malestar gastrointestinal. En consecuencia, consideramos apropiado minimizar el malestar intestinal dentro del estudio actual, por lo que seleccionamos la tasa de ingesta de carbohidratos promedio más baja de 1,3 g/min/ (78 g/h) óptima para el rendimiento (34). Como resultado, es razonable especular que el problema de malestar gastrointestinal observado en los estudios previos realizados con dosis altas de laboratorio se produjo por la acumulación de glucosa en el intestino provocada por la saturación de la capacidad de absorción de monosacáridos simples a través de SGLT1 (29). De ello se desprende que el tamaño del efecto estandarizado moderado-grande de los carbohidratos de transporte múltiple sobre el rendimiento de los regímenes agresivos previos de velocidad de alimentación (3, 36, 40), podría ser un producto parcial de la acumulación de carbohidratos en el intestino y del malestar intestinal (30), y de la menor oxidación de carbohidratos exógenos en la condición donde solo se consumió glucosa (13).

En segundo lugar, los comentarios negativos sobre la palatabilidad y el confort asociados con las barras sugieren que el formato de administración de los carbohidratos podría haber modificado los resultados. En relación con la bebida, la tasa de oxidación del mismo carbohidrato derivado de una barra fue 22% menor (IC del 95%: -56 a 12%) (25). Al comparar la ingesta de carbohidratos en forma de barras con el mismo tipo y calorías de carbohidratos en forma de geles, se observó que las barras redujeron la potencia máxima, el confort intestinal y la facilidad de esfuerzo durante el ciclismo de alta intensidad, aunque no se observó una diferencia clara entre los formatos de barra vs bebida. Las barras también contenían grasas, proteínas y fibra. Se sabe que estos otros componentes son moderadores de la respuesta glicémica (i.e., índice glucémico) y retardan el vaciamiento gástrico y la velocidad de digestión de los carbohidratos (26), por lo que serían los responsables de moderar las tasas de absorción de monosacáridos a través del epitelio intestinal y por lo tanto, probablemente hayan contribuido con la incidencia actual de malestar gastrointestinal.

Una tercera explicación posible fue la regulación intrínseca parcial de la tasa de ingesta de carbohidratos. Los participantes recibieron unidades de suplemento definidas en un momento determinado en caso en que fuera posible (por ejemplo, comida pre-ejercicio, barra e ingesta de gel inmediatamente después de haberlos recogido en la estación de alimentación durante la carrera), pero se fijaron otros aportes en intervalos regulares (cada 10 min), por lo que en la práctica se consideró un consumo *ad libitum* entre los tramos de estaciones de alimentación. A diferencia de la tasa experimentalmente establecida en los regímenes de alimentación de laboratorio previos en forma de bolo (1, 3, 11, 13, 28, 30, 35, 40), el régimen de alimentación actual (que simulan lo que ocurre en la práctica normal) podría haber atenuado el primer mecanismo ergogénico propuesto (incomodidad intestinal) al permitir la moderación de la velocidad de administración de carbohidratos entre los tramos de las estaciones de alimentación. Además, la mayoría de los autores, incluidos nosotros mismos, presentan y describen los resultados de la tasa de carbohidratos exógenos ingeridos y oxidados en unidades por minuto; Esta forma de contabilización probablemente no representa adecuadamente las condiciones en el sitio de absorción. Como ejemplo: en todos los estudios anteriores, se proporcionaron bebidas en intervalos de 15 ó 20 minutos en forma de bolos grandes (por ejemplo, 150-250 ml que contenían 24-36 g de carbohidratos). Suponiendo un vaciado gástrico desinhibido (la mayoría de las soluciones de prueba eran <500 mOsm/kg (26)), los bolos se distribuirían rápidamente y se acumularían a través de la mucosa duodeno-yeyunal creando un cuello de botella de absorción de carbohidratos asociado con la saturación de los transportadores de monosacáridos. Por lo tanto, es razonable proponer,

que una combinación entre la regulación intrínseca (tasa de ingesta moderada a lo largo de la duración del tramo de las estaciones de alimentación) y la digestión del formato de alimentos mixtos podría haber frenado la velocidad de suministro de monosacáridos a la pared intestinal atenuando el cuello de botella de absorción de glucosa y, por tanto, habría una ventaja relativa de los diferentes sacáridos para acceder a los mecanismos de transporte alternativos y adicionales (29).

Tanto el esfuerzo físico y mental máximo de la competencia como la naturaleza multideportiva del triatlón pueden haber influido en la eficacia de los carbohidratos de transporte múltiple observada en este estudio en comparación con los estudios previos más cortos, menos intensos y de un solo modo realizados en laboratorio (1, 3, 28, 30, 35, 40). Los triatlones de larga distancia se corren a un 75-80% del VO_{2max} (20), atenuando el vaciamiento gástrico y el flujo sanguíneo esplénico (22). El malestar gastrointestinal asociado al triatlón fue mayor que el observado durante la carrera o el ciclismo (19, 24, 26).

El estudio de campo actual no estuvo exento de desafíos operacionales; implicó una logística sustancial, una gran cooperación de los organizadores de eventos y un gran riesgo (por ejemplo, eventos meteorológicos). Sin embargo, el reclutamiento fue relativamente sencillo, el abandono fue bajo y el cumplimiento fue alto. La evaluación de la tasa de rendimiento, la mano de obra, las instalaciones y los costos de equipamiento fueron sustancialmente menores en comparación con estudios con tamaño de muestra equivalente que se realizan en un laboratorio. Las limitaciones del estudio se limitaron al control de la frecuencia de alimentación de los participantes entre las estaciones de alimentación (aunque un componente positivo de validez ecológica) y la variabilidad introducida por eventos mecánicos o por infracciones técnicas en la etapa de ciclismo, pero todo esto pudo ser ajustado en el análisis del PP. El uso de sistemas de GPS en estudios futuros, por ejemplo, permitiría obtener una estimación más precisa de la demora temporal debida a problemas mecánicos.

Aunque el tamaño del efecto fue menor de lo esperado, la precisión estadística fue mayor. El análisis post-hoc del error estándar (37) proporciona una medida relativa de la sensibilidad del modelo. Por consiguiente, el error estándar del conjunto de datos del PP fue 2,2% (el 25% más rápido: 1,5%). En contraste, el error estándar después de la normalización para el error de inflación y el efecto del tratamiento debido a la precarga (10, 37) en estudios previos sobre la misma intervención pero con diferentes modelos de ciclismo fue de 1,8% (3), 2,1% (30), 2,8% (1), y 5,1% (36). Por lo tanto, el estudio actual realizado en las competencias proporcionó condiciones experimentales y sensibilidad comparables a las mejores pruebas de laboratorio normalizadas, pero con la ventaja sustancial de la validez traslacional y la inferencia clínica.

CONCLUSIÓN

Los carbohidratos de transporte múltiple ingeridos en una proporción 2:1 de glucosa/maltodextrina:fructosa en forma de barras, geles y bebidas, en tasas óptimas para el rendimiento de resistencia, proporcionaron un beneficio para el rendimiento en el medio Ironman que vale la pena implementar, en relación con la administración de un carbohidrato de transportable simple isocalórico (glucosa/maltodextrina). Si bien fue posible una leve disminución en las náuseas, la composición de carbohidratos no afectó claramente la magnitud del malestar intestinal ni la percepción de energía. La elevada tasa total de ingesta de carbohidratos en el trabajo previo, la posibilidad de digestión moderada de carbohidratos sumados a la tasa de absorción del formato de alimentos mixtos actual pueden ayudar a explicar las diferencias entre el trabajo anterior y el estudio actual. El estudio clínico en competencia proporcionó validez y sensibilidad ecológica para la evaluación de intervenciones nutricionales en atletas.

REFERENCIAS

1. Baur D.A., Schroer A.B., Luden N.D., Womack C.J., Smyth S.A., Saunders M.J. (2014). Glucose-fructose enhances performance versus isocaloric, but not moderate, glucose. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46(9):1778-86.
2. Campbell C., Prince D., Braun M., Applegate E., Casazza G.A. (2008). Carbohydrate-supplement form and exercise performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metabol.* 18(2):179-90.
3. Currell K., Jeukendrup A.E. (2008). Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40(2):275-81.
4. DeBosch B.J., Chi M., Moley K.H. (2012). Glucose transporter 8 (GLUT8) regulates enterocyte fructose transport and global mammalian fructose utilization. *Endocrinology.* 153(9):4181-91.

5. Guillochon M., Rowlands D. (2016). Solid, gel, and liquid carbohydrate format effects on gut comfort and performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*20:1-21.
6. Heneghan C., Perera R., Nunan D., Mahtani K., Gill P. (2012). Forty years of sports performance research and little insight gained. *Brit. Med. J.*345.
7. Hopkins W.G., Batterham A.M. (2016). Error Rates, Decisive Outcomes and Publication Bias with Several Inferential Methods. *Sports Med.* 46(10):1563-73.
8. Hopkins W.G., Hawley J.A., Burke L.M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31(3):472-85.
9. Hopkins W.G., Marshall S.W., Batterham A.M., Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sport Exerc.*41(1):3-13.
10. Hopkins W.G., Schabort E.J., Hawley J.A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med.* 31(3):211-34.
11. Jentjens R., Achten J., Jeukendrup A. (2004). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from multiple transportable carbohydrates ingested during prolonged exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*36:1551 - 8.
12. Jentjens R., Jeukendrup A. (2005). High exogenous carbohydrate oxidation rates from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Brit. J. Nutr.*93:485 - 92.
13. Jentjens R., Moseley L., Waring R., Harding L., Jeukendrup A. (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J. Appl. Physiol.*96:1277 - 84.
14. Jentjens R.L., Achten J., Jeukendrup A.E. (2004). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*36(9):1551-8.
15. Jentjens R.L., Moseley L., Waring R.H., Harding L.K., Jeukendrup A.E. (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J. Appl. Physiol.*96(4):1277-84.
16. Jentjens RL, Venable MC, Jeukendrup AE. (2004). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J Appl Physiol.* 2004;96(4):1285-91.
17. Jeukendrup A.E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.*13(4):452-7.
18. Jeukendrup A.E., Moseley L. (2010). Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*20(1):112-21.
19. Jeukendrup A.E., Vet-Joop K., Sturk A. et al. (2000). Relationship between gastro-intestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clin. Sci.* 98(1):47-55.
20. Laursen P.B., Rhodes E.C., Langill R.H., McKenzie D.C., Taunton J.C. (2002). Relationship of exercise test variables to cycling performance in an Ironman triathlon. *Eur. J. Appl. Physiol.*87:433-40.
21. Leturque A., Brot-Laroche E., Le Gall M., Stolarczyk E., Tobin V. (2005). The role of GLUT2 in dietary sugar handling. *J. Physiol. Biochem.*61(4):529-37.
22. Maughan R., Leiper J., McGraw A. (1990). Effects of exercise intensity on absorption of ingested fluids in man. *Exp. Physiol.* 75:419-21.
23. Paton C.D., Hopkins W.G. (2005). Competitive performance of elite olympic-distance triathletes: reliability and smallest worthwhile enhancement. *sportsci.org.* 2005;9:1-5.
24. Pfeiffer B., Stellingwerff T., Hodgson A.B. et al. (2012). Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44(2):344-51.
25. Pfeiffer B., Stellingwerff T., Zaltas E., Jeukendrup A.E. (2010). Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42(11):2030-7.
26. Rehrer N.J., van Kemenade M., Meester W., Brouns F., Saris W.H. (1992). Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int. J. Sport Nutr.*2(1):48-59.
27. Risk T., (2013). Group PSC. *n-3 Fatty Acids in Patients with Multiple Cardiovascular Risk Factors.* *N. Engl. J. Med.*368(19):1800-8.
28. Roberts J.D., Tarpey M.D., Kass L.S., Tarpey R.J., Roberts M.G. (2014). Assessing a commercially available sports drink on exogenous carbohydrate oxidation, fluid delivery and sustained exercise performance. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*11(1):1-14.
29. Rowlands D.S., Houltham S., Musa-Veloso K., Brown F., Paulionis L., Bailey D. (2015). Fructose-glucose composite carbohydrates and endurance performance: critical review and future perspectives. *Sports Med.* 45(11):1561-76.
30. Rowlands D.S., Swift M., Ros M., Green J.G. (2012). Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metabol.* 37(3):425-36.
31. Rumessen J.J., Gudmand-Hoyer E. (1986). Absorption capacity of fructose in healthy adults. *Comparison with sucrose and its constituent monosaccharides.* *Gut.* 27(10):1161-8.
32. Sareban M., Zugel D., Koehler K. et al. (2016). Carbohydrate intake in form of gel is associated with increased gastrointestinal distress but not with performance differences compared with liquid carbohydrate ingestion during simulated long-distance triathlon. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metabol.*26(2):114-22.
33. Shi X., Summers R.W., Schedl H.P., Flanagan S.W., Chang R., Gisolfi C.V. (1995). Effects of carbohydrate type and concentration and solution osmolality on water absorption. *Med. Sci. Sports Exerc.*27:1607-15.
34. Smith J.W., Pascoe D.D., Passe D. et al. (2013). Curvilinear dose-response relationship of carbohydrate (0-120 g. h⁻¹) and performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45(2):336-41.
35. Tarpey M.D., Roberts J.D., Kass L.S., Tarpey R.J., Roberts M.G. (2013). The ingestion of protein with a maltodextrin and fructose beverage on substrate utilisation and exercise performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metabol.*38(12):1245-53.
36. Triplett D., Doyle D., Rupp J., Benardot D. (2010). An isocaloric glucose-fructose beverage's effect on simulated 100-km cycling performance compared with a glucose-only beverage. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metabol.*;20(2):122-31.
37. Vandenberghe T.J., Hopkins W.G. (2011). Effects of acute carbohydrate supplementation on endurance performance: A meta-analysis. *Sports Med.*41(9):773-92.

38. Wall B.A., Watson G., Peiffer J.J., Abbiss C.R., Siegel R., Laursen P.B. (2013). Current hydration guidelines are erroneous: dehydration does not impair exercise performance in the heat. *Brit. J. Sports Med.* 49(16):1077-83.
39. Wallis G.A., Rowlands D.S., Shaw C., Jentjens R.L., Jeukendrup A.E. (2005). Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med. Sci. Sports Exer.*37(3):426-32.
40. Wilson P.B, Inghram S.J. (2015). Glucose-fructose likely improves gastrointestinal comfort and endurance running performance relative to glucose-only. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 25(6):e613-20.

Cita Original

David S. Rowlands and Stuart D. Houltham. (2017). Multiple Transportable Carbohydrate Impact on Long-Distance Triathlon Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Publish Ahead of Print DOI: 10.1249/MSS.0000000000001278