



# CARBOHIDRATOS DE TRANSPORTE MÚLTIPLE Y SUS BENEFICIOS

Asker E. Jeukendrup | Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte | Barrington (IL) & Loughborough University (UK)

## PUNTOS CLAVE

- Durante el ejercicio prolongado, los beneficios sobre el rendimiento por la ingesta de carbohidratos pueden lograrse al mantener la concentración de glucosa en plasma y altas tasas de oxidación de carbohidratos.
- Las limitaciones de la oxidación de carbohidratos exógenos parecen presentarse muy probablemente a causa de la saturación de los transportadores de carbohidratos. Al usar una combinación de carbohidratos que utilizan diferentes transportadores intestinales para la absorción (carbohidratos de transporte múltiple), puede incrementarse la entrega y la oxidación de carbohidratos.
- En estudios se han demostrado tasas de oxidación de carbohidratos exógenos durante el ejercicio hasta 65% mayores con carbohidratos de transporte múltiple (glucosa:fructosa) al comparar con un sólo carbohidrato (por ejemplo, sólo glucosa).
- Las tasas de oxidación de carbohidratos exógenos alcanzan valores de 1.75 g/min con carbohidratos de transporte múltiple mientras que anteriormente se pensaba que 1 g/min era el máximo absoluto.
- El aumento en la oxidación de carbohidratos con carbohidratos de transporte múltiple estuvo acompañado por un incremento en la entrega de líquidos y una mejoría en la eficiencia de la oxidación y por lo tanto puede disminuir la probabilidad de presentar molestias gastrointestinales.
- Los estudios también demostraron disminución en la fatiga y mejoras en el rendimiento en el ejercicio con carbohidratos de transporte múltiple en comparación con un sólo carbohidrato.
- La ingesta de carbohidratos de transporte múltiple a tasas elevadas puede ser beneficiosa durante los deportes de resistencia en los cuales la duración del ejercicio es de 2.5 h o más.
- La recomendación para los eventos de resistencia prolongados (2.5 h o más) es una ingesta de 90 g de carbohidratos de transporte múltiple por hora. Esta recomendación no está expresada en relación a la masa corporal porque parece ser que el tamaño corporal/masa no tiene un gran papel en la oxidación de carbohidratos exógenos.

## INTRODUCCIÓN

Durante el ejercicio de intensidad moderada los carbohidratos y las grasas son los dos combustibles importantes y su contribución relativa depende de un número de factores, incluyendo las reservas de carbohidratos antes del ejercicio, la intensidad y duración del ejercicio y el estado de entrenamiento del sujeto (Jeukendrup, 2003). Durante el ejercicio intenso (y por lo tanto, en la mayoría de las situaciones de competencia) los carbohidratos son el combustible fundamental, y la reducción de las reservas de carbohidratos en el músculo (glucógeno muscular) se ha vinculado al rendimiento en el ejercicio (Bergström et al., 1967; Rodríguez et al., 2009). En la década de los 60s y en los estudios de los 80s se investigó el papel de los almacenes altos de glucógeno muscular al inicio del ejercicio (carga de carbohidratos) sobre el rendimiento en el ejercicio (Bergström et al., 1967). Desde los años 80s hasta ahora la investigación se ha centrado más en el posible papel del consumo de carbohidratos justo antes y durante el ejercicio. Aunque los mecanismos exactos aún no están totalmente claras, se ha sabido por algún tiempo que el consumo de carbohidratos durante el ejercicio puede aumentar la capacidad de ejercicio (tiempo hasta el agotamiento) y mejorar el rendimiento en el ejercicio (pruebas contrarreloj) (para revisiones ver, Jeukendrup, 2004, 2008, 2010, 2011; Jeukendrup y McLaughlin, 2011). Desde entonces, los estudios han investigado los efectos de diferentes regímenes de alimentación, diferentes tipos y cantidades de carbohidratos con el fin de hacer las

recomendaciones más específicas. Este artículo de Sports Science Exchange se centrará en estos estudios recientes y se limitará al papel de los carbohidratos ingeridos durante el ejercicio.

## CONSUMO DE UN SOLO TIPO O DIFERENTES TIPOS DE CARBOHIDRATOS

Para estudiar la eficacia de diversos carbohidratos se ha utilizado marcado isotópico. Básicamente, el carbono en el carbohidrato está marcado con  $^{13}\text{C}$  y después de la oxidación en el cuerpo aparecerá el  $^{13}\text{C}$  en el  $\text{CO}_2$  que se exhala. Al conocer el aumento de  $^{13}\text{C}$  en la bebida, el  $\text{CO}_2$  total producido y el aumento de  $^{13}\text{C}$  en el  $\text{CO}_2$  exhalado, es posible medir la oxidación de carbohidratos exógenos o la cantidad de carbohidratos que se han utilizado desde la sangre. Este método permitió a los investigadores describir la trayectoria de la oxidación de un carbohidrato y también comparar la oxidación de diferentes carbohidratos. Durante el ejercicio la mayoría de la oxidación de los carbohidratos se lleva a cabo en el músculo, y los estudios han demostrado que casi la totalidad de los carbohidratos ingeridos aparece en la circulación y es utilizada por el músculo (Jeukendrup et al., 1999). Cuando se consumen carbohidratos desde el inicio del ejercicio y posteriormente a intervalos regulares, aumenta la oxidación de los carbohidratos ingeridos y por lo general llega a una meseta después de 60-90 min. Se estudió una variedad de carbohidratos incluyendo glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, maltosa y polímeros de glucosa. Se encontró que la fructosa se oxidó a tasas menores que

la glucosa (Burelle et al., 2006) y las tasas de oxidación de galactosa fueron casi 50% más bajas (Burelle et al., 2006; Leijssen et al., 1995). Esto se explica por diferencias en la absorción, así como el hecho de que la fructosa y la galactosa tienen que convertirse en glucosa en el hígado antes de que puedan ser oxidadas en el músculo. La maltosa (2 moléculas de glucosa) y los polímeros de glucosa (múltiples moléculas de glucosa) se comportan de forma idéntica a la glucosa, lo que indica que la hidrólisis, que se lleva a cabo en la cavidad oral y los intestinos, no fue un factor limitante. Incluso un almidón con alto peso molecular se oxida a la misma velocidad que la glucosa (Rowlands et al., 2005). Curiosamente, la ingesta de sacarosa (1 molécula de glucosa y 1 molécula de fructosa) parece dar tasas de oxidación altas, aunque el rompimiento de la sacarosa resulta en glucosa y en la fructosa que se oxida a tasas más bajas. Otros carbohidratos menos comunes, como isomaltulosa y trehalosa también se oxidan a tasas más bajas.

En resumen, hay muchos tipos diferentes de carbohidratos y éstos se pueden dividir a grandes rasgos en dos categorías: carbohidratos que se oxidan rápidamente (hasta ~ 60 g/h o 1 g/min) y carbohidratos oxidados de manera relativamente lenta (hasta ~ 30 g/h o 0.5 g/min). Los carbohidratos que se oxidan rápidamente incluyen glucosa, maltosa, sacarosa, maltodextrina y almidón de amilopectina. Los carbohidratos que se oxidan lentamente incluyen fructosa, galactosa, isomaltulosa, trehalosa y amilosa.

Antes de 2004, se creía que aun cuando "los carbohidratos rápidos" se ingerían durante el ejercicio, éstos no podían oxidarse a tasas mayores que 1 g/min (60 g/h). La evidencia ha sido examinada a detalle en otras revisiones (Jeukendrup, 2004, 2008; Jeukendrup y Tipton, 2009). Los puntos de vista en ese momento todavía se reflejan en las guías actuales de Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM por sus siglas en inglés), que establecen que los atletas deben tomar entre 30 y 60 gramos de carbohidratos por hora (Rodríguez et al., 2009).

## RAZONES PARA LA LIMITACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS EXÓGENOS

Aunque la observación de una tasa máxima de oxidación de carbohidratos exógenos de alrededor de 1 g/min fue generalmente aceptada, las razones para este aparente límite superior no estaban claras. Las limitaciones potenciales que se pensaban incluían el vaciamiento gástrico, la absorción intestinal, la síntesis de glucógeno en el hígado y por lo tanto la reducción sistémica de la aparición de los carbohidratos (glucosa), o la captación de glucosa en el músculo. Se ha demostrado en varios estudios que el vaciamiento gástrico de los carbohidratos supera ampliamente 1 g/min y por lo tanto esto fue excluido como el principal factor limitante. En el momento parecía imposible que la absorción intestinal fuera limitante debido a que muchos libros de texto citaban que la capacidad de absorción de los carbohidratos era prácticamente ilimitada. Después de la absorción los carbohidratos terminan en el hígado a través de la vena porta y en teoría era posible que los carbohidratos se almacenaran allí antes de que pudieran llegar al músculo. Sin embargo, un estudio en particular sugirió que el hígado tampoco podría ser el factor limitante. En este estudio los sujetos se ejercitaron durante 5 h e ingirieron cantidades relativamente grandes de glucosa (Jeukendrup et al., 2006). Habían tantos carbohidratos

que no podían cuantificarse cuando los carbohidratos oxidados eran restados de los carbohidratos ingeridos que habría sido imposible que esa cantidad se almacenara en el hígado. También se demostró que la captación de glucosa en el músculo no fue limitante ya que la captación de glucosa fue mucho mayor cuando se hizo la infusión de glucosa directamente a la circulación (Hawley et al., 1994). Dado que ni el vaciamiento gástrico, ni la síntesis de glucógeno en el hígado, ni la captación de glucosa en el músculo podían explicar las limitaciones de la oxidación de carbohidratos exógenos, la atención se desvió a la absorción intestinal de los carbohidratos.

## CARBOHIDRATOS DE TRANSPORTE MÚLTIPLE

La glucosa se absorbe a través de una proteína transportadora de glucosa dependiente de sodio llamada SGLT1 (Figura 1). Esta proteína transportadora en la membrana del borde en cepillo tiene una alta afinidad por la glucosa y la galactosa pero no por la fructosa (Kellett, 2001). Se planteó la hipótesis de que la limitación para la oxidación de carbohidratos exógenos era la saturación de los transportadores

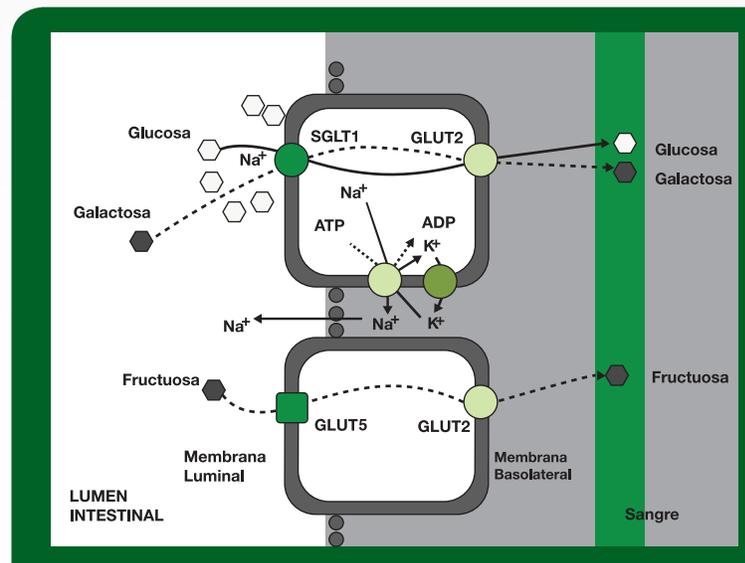
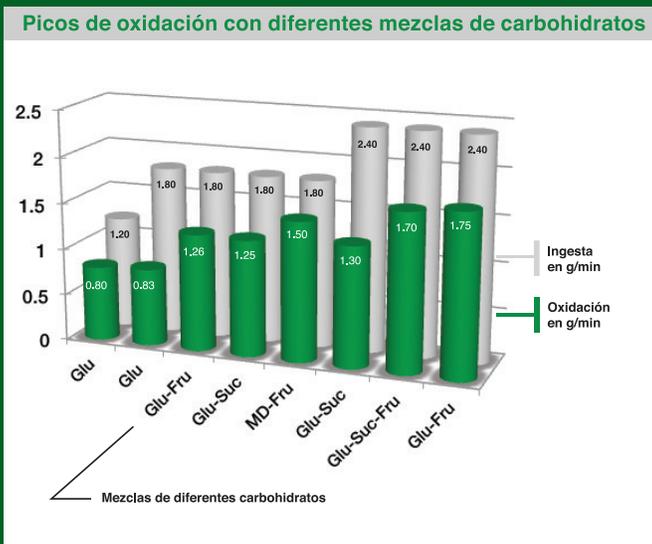


Figura 1: Absorción de diferentes tipos de carbohidratos. Los monosacáridos glucosa y galactosa se transportan a través de la membrana luminal del epitelio intestinal usando un transportador de glucosa dependiente de sodio SGLT1. Se cree que este transportador se satura cuando la ingesta de glucosa es de alrededor de 60 g/h. La fructosa utiliza un sistema de transporte diferente y se transporta (independiente de sodio) por GLUT5. Todos estos monosacáridos se transportan a través de la membrana basolateral a la circulación por GLUT2.

SGLT1 en la membrana del borde en cepillo del intestino, lo que puede ocurrir a tasas altas de ingesta de glucosa (Jentjens et al., 2004). Así, esencialmente cuando un carbohidrato que utiliza SGLT1 se ingiere a una tasa de 1 g/min, este transportador se puede saturar y la ingesta de más de un carbohidrato específico puede no resultar en un aumento en la aparición de ese carbohidrato en la circulación.

La absorción de fructosa sigue un camino completamente diferente y no se ve afectada por la saturación de SGLT1. Se absorbe de forma independiente por un transportador independiente de sodio llamado GLUT5 (Ferrari & Diamond, 1997). Así, la ingesta combinada podría resultar en un aumento de la entrega total de carbohidratos hacia la

circulación y el aumento de la oxidación por el músculo. Por lo tanto, los siguientes estudios se diseñaron para entregar la glucosa a una tasa de 1.2 g/min y la fructosa a una tasa de 0.6 g/min con la ingesta total de carbohidratos de 1.8 g/min y comparar esto con la ingesta de sólo glucosa a 1.8 g/min. En este estudio pionero de Jentjens et al. (2004a), ciclistas entrenados se ejercitaron durante 3 horas a una intensidad moderada e ingirieron cantidades iguales de energía de glucosa o glucosa: fructosa. Las tasas de oxidación en las pruebas con glucosa alcanzaron un máximo de ~0.8g/min mientras que las tasas de oxidación de la glucosa:fructosa alcanzaron un máximo de ~1.26 g/min (Figura 2, las tres barras de la izquierda). Este fue el



**Figura 2:** Oxidación de carbohidratos exógenos a partir de diferentes mezclas de carbohidratos. Los datos provienen de un número de estudios discutidos en el texto. En general, con el aumento en el consumo, la oxidación de un sólo carbohidrato se estabiliza alrededor de 1 g/min (0.8 g/min, aquí), mientras que la oxidación de carbohidratos de transporte múltiple aumenta hasta 1.75 g/min.

primer estudio que demuestra que, con el uso de carbohidratos de transporte múltiple, las tasas de oxidación de carbohidratos exógenos podrían aumentarse a más de 1 g/min. También demostró que la fructosa, cuando se utiliza en combinación con la glucosa, puede ser oxidada a tasas relativamente altas.

Los siguientes estudios investigaron varias combinaciones de diferentes carbohidratos tales como glucosa: sacarosa:fructosa, glucosa:sacarosa, y maltodextrina:fructosa, y estas mezclas de carbohidratos se consumieron a diferentes tasas de ingesta (Figura 2). La ingesta de una mezcla de glucosa:maltosa se oxidó a la misma velocidad que la glucosa sola, ya que la maltosa se hidroliza a glucosa y por lo tanto utiliza el mismo transportador intestinal de carbohidrato SGLT1 (Jentjens et al., 2004b). Sin embargo, una mezcla de glucosa:sacarosa ingerida a una tasa de 1.8 g/min resultó en un pico 18% mayor en las tasas de oxidación de carbohidratos exógenos (Jentjens et al., 2004ab). Cuando la mezcla de glucosa:sacarosa se consumió a tasas muy elevadas (2.4 g/min) las

tasas de oxidación alcanzaron un máximo de 1.2 g/min, más bajo de lo previsto. Aunque las comparaciones directas entre los estudios son algo problemáticas, parecía que en este estudio una tasa de ingesta muy alta no resultó en tasas de oxidación más altas en comparación con la glucosa:fructosa en un consumo más práctico (Jentjens et al., 2004a). No obstante, cuando una mezcla de glucosa:sacarosa:fructosa se ingirió a estas tasas altas, se observaron tasas de oxidación pico tan altas como 1.7 g/min (Jentjens et al., 2004c). Por último, la ingesta de glucosa:fructosa a una tasa promedio de 2.4 g/min dio lugar a una oxidación 65% mayor que la glucosa sola y alcanzaron tasas de oxidación pico muy altas de 1.75 g/min (Jentjens y Jeukendrup, 2005). Esta es la tasa de oxidación de carbohidratos exógenos más alta reportada en la literatura hasta la fecha.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, el hallazgo más interesante fue quizás el de la mezcla de maltodextrina:fructosa (Wallis et al 2005). Esta combinación de carbohidratos no es tan dulce como las otras mezclas mencionadas anteriormente y por lo tanto es más aceptable. En este estudio se alcanzaron tasas de oxidación de 1.5 g/min a una tasa de ingesta de 1.8 g/min.

### EFFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO

En estudios posteriores, más prácticos pero todavía con grandes cantidades de carbohidratos ingeridas por los sujetos (1.5 g/min) se observó que los valores del esfuerzo percibido (RPE) de los sujetos tendían a ser menores con la mezcla de glucosa y fructosa en comparación con la glucosa sola y esos ciclistas fueron capaces de mantener su cadencia mejor hacia el final de 5 h de ejercicio en bicicleta (Jeukendrup et al., 2006). Rowlands et al. (2008) también reportó una disminución en la fatiga al ingerir una mezcla de maltodextrina:fructosa vs maltodextrina sola. También se demostró que una bebida de glucosa:fructosa podría mejorar el rendimiento en el ejercicio (Currell y Jeukendrup, 2008) en comparación con una bebida de glucosa. Un grupo de ciclistas se ejercitó durante 2 horas en un cicloergómetro al 54% del VO<sub>2</sub>máx durante las cuales ingirieron una bebida de carbohidratos o un placebo y se les pidió llevar a cabo una prueba contrarreloj que duró otros ~ 60 min. Los resultados fueron asombrosos. Cuando los sujetos ingirieron una bebida de glucosa (a 1.8 g/min), mejoraron su producción de potencia promedio en un 9% en comparación con el placebo (254 frente a 231 W). Sin embargo, cuando ellos ingirieron glucosa:fructosa, hubo otra mejoría del 8% en la producción de potencia por encima de la mejoría por la ingesta de glucosa. Este fue el primer estudio que demuestra una clara ventaja de rendimiento con la glucosa:fructosa en comparación con la glucosa (Currell y Jeukendrup, 2008). Estos resultados fueron confirmados por otros estudios que mostraron un mejor rendimiento en pruebas contrarreloj de 100 K (Triplett et al., 2010), mejoría en el rendimiento en carrera de ciclismo de montaña (Rowlands et al., 2012), así como un mejor rendimiento en ciclismo de alta intensidad en el laboratorio (Rowlands et al., 2012).

Es importante tomar en cuenta que para beneficiarse de una mezcla de glucosa:fructosa puede ser necesario saturar los transportadores de glucosa en el intestino por la ingesta de cantidades suficientes de glucosa. Cuando los carbohidratos se ingieren en dosis de 0.8 g/min y puede ser que no ocurra la saturación, consumir parte de este

carbohidrato como fructosa puede no dar lugar a mayores tasas de oxidación de carbohidratos exógenos (Hulston et al., 2009).

También es probable que la duración del ejercicio necesite ser relativamente larga para que estos efectos ergogénicos resulten obvios. Los estudios hasta la fecha han demostrado estos efectos cuando el ejercicio fue de 2.5 h o más. También es importante señalar que estos estudios se realizaron en ciclistas relativamente bien entrenados que se ejercitan con alta producción de potencia y tenían altas tasas de oxidación de carbohidratos y de gasto de energía. Probablemente estos resultados son poco aplicables a las 5 h de un corredor de maratón, quien completa un maratón a una intensidad absoluta mucho más baja con tasas de oxidación de carbohidratos totales mucho más bajas.

### OTROS EFECTOS DE LOS CARBOHIDRATOS DE TRANSPORTE MÚLTIPLE

El trabajo más reciente se ha centrado en los efectos de las tasas altas de ingesta de mezclas de carbohidratos sobre el vaciamiento gástrico y el suministro de fluido. Nuevamente los resultados fueron notables. Se encontró que el vaciamiento gástrico, medido por un tubo gástrico o mediante el uso de un trazador  $^{13}\text{C}$ -acetato, mejoró con una mezcla de glucosa:fructosa en comparación con la glucosa (Jeukendrup y Moseley, 2010). También se ha demostrado en una serie de estudios que el suministro de líquidos también mejora con la mezcla glucosa:fructosa en comparación con la glucosa (Currell et al., 2008; Jentjens et al., 2006; Jeukendrup y Moseley, 2010). Además, los estudios han demostrado una mayor eficiencia de oxidación con carbohidratos de transporte múltiple en comparación con un único carbohidrato. Esto indica que la mayoría de los carbohidratos ingeridos se oxidan y la minoría es un residuo en el intestino. Como resultado del vaciamiento gástrico más rápido y el aumento de la absorción, la mayoría de los estudios también han reportado menos problemas gastrointestinales con carbohidratos de transporte múltiple en comparación con una cantidad isoenergética de una única fuente de carbohidratos (Rowlands y col., 2012).

### DIFERENCIAS INDIVIDUALES

Las diferencias individuales en la oxidación de carbohidratos exógenos son relativamente pequeñas. No parece haber ninguna correlación entre la masa corporal y la oxidación de carbohidratos exógenos. La razón de esto es probablemente debido a que el factor limitante es la absorción de carbohidratos y la absorción es en gran medida independiente de la masa corporal. Es probable que la pequeña variación en la oxidación de carbohidratos sea un resultado de la capacidad de absorción del intestino que a su vez puede estar relacionado con el contenido de carbohidratos de la dieta. Se ha demostrado en estudios con animales que los transportadores intestinales se regulan favorablemente con el aumento de la ingesta de carbohidratos y hasta ahora un estudio en humanos ha demostrado un efecto similar (Cox et al., 2010). Los primeros estudios no mostraron diferencias en la oxidación de carbohidratos exógenos entre individuos bien entrenados y no entrenados (Jeukendrup et al., 1997; van Loon et al., 1999). Tal vez cuando la intensidad absoluta del

ejercicio y por lo tanto la oxidación total de carbohidratos cae por debajo de cierto nivel, la oxidación de carbohidratos exógenos puede también reducirse (Pirnay et al., 1982). Por lo tanto, las recomendaciones basadas en estos estudios pueden ajustarse a la baja para aquellos que se ejercitan a intensidades absolutas más bajas de ejercicio.

Debido a que los carbohidratos exógenos son independientes de la masa corporal o la masa muscular, pero dependientes de la absorción y, en alguna medida de la producción de potencia, la recomendación dada a los atletas debe estar en cantidades absolutas (Jeukendrup, 2010). Estos resultados muestran claramente que no hay ninguna razón para expresar las recomendaciones de carbohidratos para los atletas por kg de masa corporal.

### IMPLICACIONES PRÁCTICAS

- Con base en la evidencia mostrada, las guías pueden tener que ajustarse para eventos prolongados (> 2.5 h). Durante estos eventos, los atletas que compiten y están bien entrenados deben considerar aumentar su consumo de carbohidratos a 90 g/h.
- La fuente de carbohidratos debe ser una mezcla de glucosa y fructosa, o maltodextrina y fructosa en una proporción de aproximadamente 2:1, por lo que serían 60 g/h de glucosa o maltodextrina (para saturar los transportadores SGLT1) y 30 g/h de fructosa adicional para la oxidación.
- Pueden considerarse y tolerarse tasas más altas de ingesta, pero no siempre son posibles desde un punto de vista práctico.
- Las implicaciones prácticas y las recomendaciones para los atletas se analizan con más detalle en otro artículo de SSE (Jeukendrup, SSE 2012) y en una publicación reciente (Jeukendrup, 2011).

### CONCLUSIÓN

La ingesta de una combinación de carbohidratos que utilizan diferentes transportadores intestinales para la absorción puede incrementar la entrega y la oxidación de carbohidrato.

Estos aumentos se observan cuando se ingiere simultáneamente un carbohidrato que utiliza SGLT1 para la absorción y un carbohidrato secundario que utiliza un sistema de transporte diferente. El aumento de la oxidación sólo se ve cuando el carbohidrato dependiente de SGLT1 se ingiere a tasas altas (1 g/min). Aunque anteriormente se creía que la tasa máxima absoluta de oxidación de carbohidratos ingeridos era de 1 g/min, en estudios recientes con carbohidratos de transporte múltiple se han reportado valores de hasta 1.75 g/min. El aumento de la oxidación de carbohidratos con carbohidratos de transporte múltiple se acompañó de un aumento de suministro de fluido y una mejoría en la eficiencia de la oxidación y por lo tanto puede disminuir la probabilidad de malestar gastrointestinal. Los estudios también han demostrado una disminución en la fatiga y mejorías en el rendimiento en el ejercicio con carbohidratos de transporte múltiple en comparación con un solo carbohidrato. Por lo tanto, los carbohidratos de transporte múltiple, ingeridos a tasas elevadas, pueden ser beneficiosos durante los deportes de resistencia, donde la duración del ejercicio es de 2.5 horas o más. Las guías tendrán que ajustarse para tener en cuenta estos resultados.

## REFERENCIAS

- Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 71: 140-150.
- Burelle, Y., M.C. Lamoureux, F. Peronnet, D. Massicotte, and C. Lavoie (2006). Comparison of exogenous glucose, fructose and galactose oxidation during exercise using <sup>13</sup>C-labelling. *Br. J. Nutr.* 96: 56-61.
- Cox, G.R., S.A. Clark, A.J. Cox, S.L. Halson, M. Hargreaves, J.A. Hawley, and L.M. Burke (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *J. Appl. Physiol.* 109: 126-134.
- Currell, K., and A.E. Jeukendrup (2008). Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 275-281.
- Currell, K., J. Urch, E. Cerri, R.L. Jentjens, A.K. Blannin, and A.E. Jeukendrup (2008). Plasma deuterium oxide accumulation following ingestion of different carbohydrate beverages. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33:1067-1072.
- Ferraris, R.P., and J. Diamond (1997). Regulation of intestinal sugar transport. *Physiol. Rev.* 77: 257-302.
- Hawley, J.A., A.N. Bosch, S.M. Weltan, S.D. Dennis, and T.D. Noakes (1994). Effects of glucose ingestion or glucose infusion on fuel substrate kinetics during prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 68:381-389.
- Hulston, C.J., G.A. Wallis, and A.E. Jeukendrup (2009). Exogenous CHO oxidation with glucose plus fructose intake during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 357-363.
- Jentjens, R.L., and A.E. Jeukendrup (2005). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br. J. Nutr.* 93: 485-492.
- Jentjens, R.L., L. Moseley, R.H. Waring, L.K. Harding, and A.E. Jeukendrup (2004a). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J. Appl. Physiol.* 96: 1277-1284.
- Jentjens, R.L., M.C. Venables, and A.E. Jeukendrup (2004b). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J. Appl. Physiol.* 96:1285-1291.
- Jentjens, R.L., J. Achten, and A.E. Jeukendrup (2004c). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1551-1558.
- Jentjens, R.L., K. Underwood, J. Achten, K. Currell, C.H. Mann and A.E. Jeukendrup (2006). Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100: 807-816.
- Jeukendrup, A.E. (2003). Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. *Biochem. Soc. Trans.* 31:1270-1273.
- Jeukendrup, A.E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 20: 669-677.
- Jeukendrup, A.E. (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *Eur. J. Sport Sci.* 8: 77-86.
- Jeukendrup, A.E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 13:452-457.
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J. Sports Sci.* 29:Suppl 1, S91-99.
- Jeukendrup, A.E., and K.D. Tipton (2009). Legal nutritional boosting for cycling. *Curr. Sports Med. Rep.* 8: 186-191.
- Jeukendrup, A.E., and L. Moseley (2010). Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20:112-121.
- Jeukendrup, A.E., and J. McLaughlin (2011). Carbohydrate ingestion during exercise: effects on performance, training adaptations and trainability of the gut. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 69, 1-12.
- Jeukendrup, A.E., M. Mensink, W.H.M. Saris, A.J.M. Wagenmakers (1997). Exogenous glucose oxidation during exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 82:835-840.
- Jeukendrup, A.E., A. Raben, A. Gijsen, J.H. Stegen, F. Brouns, W.H.M. Saris, and A.J.M. Wagenmakers (1999). Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *J. Physiol.* 515: 579-589.
- Jeukendrup, A.E., L. Moseley, G.I. Mainwaring, S. Samuels, S. Perry, and C.H. Mann (2006). Exogenous carbohydrate oxidation during ultraendurance exercise. *J. Appl. Physiol.* 100:1134-1141.
- Kellett, G.L. (2001). The facilitated component of intestinal glucose absorption. *J. Physiol.* 531: 585-595.
- Leijssen, D.P., W.H.M. Saris, A.E. Jeukendrup, and A.J.M. Wagenmakers (1995). Oxidation of exogenous [<sup>13</sup>C]galactose and [<sup>13</sup>C]glucose during exercise. *J. Appl. Physiol.* 79:720-725.
- Pirnay, F., J.M. Crielaard, N. Pallikarakis, M. Lacroix, F. Mosora, Krzentowski, G and P.J. Lefebvre (1982). Fate of exogenous glucose during exercise of different intensities in humans. *J. Appl. Physiol.* 53:1620-1624.
- Rodriguez, N.R., N.M. Di Marco, and S. Langley (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 709-731.
- Rowlands, D.S., G.A. Wallis, C. Shaw, R.L. Jentjens, and A.E. Jeukendrup (2005). Glucose polymer molecular weight does not affect exogenous carbohydrate oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37: 1510-1516.
- Rowlands, D.S., M.S. Thorburn, R.M. Thorp, S. Broadbent, and X. Shi (2008). Effect of graded fructose coingestion with maltodextrin on exogenous <sup>14</sup>C-fructose and <sup>13</sup>C-glucose oxidation efficiency and high-intensity cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 104:1709-1719.
- Rowlands, D.S., M. Swift, M. Ros, J.G. Green (2012). Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 37: 425-436.
- Triplett, D., J.A. Doyle, J.C. Rupp, D. Benardot (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. Metab.* 20:122-131.
- van Loon, L.J., A.E. Jeukendrup, W.H.M. Saris, and A.L. M. Wagenmakers (1999). Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J. Appl. Physiol.* 87:1413-1420.
- Wallis, G.A., D.S. Rowlands, C. Shaw, R.L. Jentjens, and A.E. Jeukendrup (2005). Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:426-432.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Jeukendrup, A.E. (2013). Multiple transportable carbohydrates and their benefits. *Sports Science Exchange* 108, Vol. 26, No.108, 1-5 por Lic. Nidia Rodríguez y Lourdes Mayol, M.Sc.