



CARBOHIDRATOS DE LA DIETA Y EL ATLETA DE RESISTENCIA: PERSPECTIVAS CONTEMPORÁNEAS

Gareth A. Wallis, PhD y Tim Podlogar, PhD

Escuela de Ciencias del Deporte, Ejercicio y Rehabilitación, Universidad de Birmingham, Birmingham, Reino Unido

PUNTOS CLAVE

- Está bien establecida la importancia de los carbohidratos como fuente de energía para el ejercicio de resistencia y el rendimiento deportivo. A pesar de esto, las recomendaciones de carbohidratos para atletas de resistencia necesitan evolucionar continuamente para reflejar los conocimientos y prácticas contemporáneos.
- Para garantizar una disponibilidad suficiente de glucógeno muscular, la competencia de resistencia o el entrenamiento intenso de alta calidad deben ir precedidos de consumos diarios de carbohidratos de la dieta ajustados a las exigencias del ejercicio posterior, que desde un punto de vista práctico podría significar consumos diarios de carbohidratos que van desde 7 a 12 g·kg⁻¹ de masa corporal (MC).
- Se recomienda el consumo de cantidades de carbohidratos de 1 a 4 g·kg⁻¹MC en las 1 a 4 h antes del ejercicio para el ejercicio que dura >60 min. En este contexto, la nutrición pre-ejercicio que combina fuentes de carbohidratos de glucosa y fructosa puede optimizar el almacenamiento de glucógeno hepático y el rendimiento de resistencia.
- La alimentación con carbohidratos durante el ejercicio de duración >60 min puede ser beneficiosa para el rendimiento con tasas de consumo recomendadas que van desde 30 a 90 g·h⁻¹. Al consumir dosis moderadas (es decir, de 30 a 60 g·h⁻¹) los atletas pueden seleccionar entre una variedad de tipos de carbohidratos (es decir, glucosa, polímeros de glucosa, sacarosa, lactosa, glucosa-fructosa o mezclas de glucosa-galactosa) y formatos (por ejemplo, bebidas, geles, barras). En dosis más altas (es decir, 60 a 90 g·h⁻¹) las mezclas de glucosa-fructosa son preferibles para acelerar la absorción intestinal y estas mezclas también presentan a los atletas con la mayor flexibilidad para la modulación del consumo de carbohidratos dentro del evento.
- El objetivo principal de la nutrición con carbohidratos después del ejercicio exhaustivo es la recuperación de las reservas de glucógeno. Actualmente se recomienda el consumo de carbohidratos de índice glicémico moderado a alto tan pronto como sea posible después del ejercicio, a una tasa de 1.0 a 1.2 g·kg⁻¹MC·h⁻¹ durante las primeras 4 horas, después de las cuales se recomienda una dieta normal que refleje las necesidades diarias de combustible. Puede haber beneficio en el consumo de fuentes de carbohidratos a base de glucosa-fructosa para optimizar la recuperación de las reservas de glucógeno tanto hepático como muscular.
- El consumo de carbohidratos para el entrenamiento debe adoptar el enfoque periodizado con base en las demandas del ejercicio, lo que permite la ejecución del programa de entrenamiento prescrito para provocar las adaptaciones máximas mientras se minimiza el riesgo de desarrollo de una deficiencia energética relativa en el deporte (RED-S).

INTRODUCCIÓN

Está bien establecida la importancia de los carbohidratos como fuente de combustible para el ejercicio y el rendimiento deportivo. De igual forma, están bien desarrolladas las pautas dietéticas de consumo de carbohidratos para atletas de resistencia que buscan optimizar su rendimiento (Thomas et al., 2016). Sin embargo, a pesar de décadas de intensa investigación en carbohidratos dentro del campo de la nutrición deportiva, se siguen generando nuevas investigaciones y conocimientos y es necesario desarrollar continuamente recomendaciones nutricionales para reflejar los conocimientos y prácticas contemporáneos. El propósito de este artículo de Sports Science Exchange es presentar brevemente las perspectivas contemporáneas de investigación y aplicación con respecto al papel de los carbohidratos de la dieta para los atletas de resistencia. Una revisión narrativa más detallada de esta área se presenta en otra publicación (Podlogar & Wallis, 2022).

CONSUMO DE CARBOHIDRATOS ANTES DE LA COMPETENCIA

Es bien sabido que el consumo de carbohidratos de la dieta en los días y horas antes del ejercicio puede influir en el almacenamiento de carbohidratos y su disponibilidad en el cuerpo, y, por lo tanto, afectan la capacidad de realizar ejercicio de resistencia. De hecho, el concepto de *carga de carbohidratos* o *glucógeno* está arraigado en la práctica nutricional dentro de las comunidades deportivas de resistencia.

Esto se basa en la investigación original que indica que es posible súper compensar las reservas de glucógeno muscular mediante el consumo de una dieta muy alta en carbohidratos antes del ejercicio, y las reservas de glucógeno muscular más altas pueden extender la capacidad de resistencia prolongada (Bergstrom & Hultman, 1967). Si se desea la *súper compensación*, se recomienda a los atletas consumir carbohidratos en una cantidad de 10 a 12 g·kg⁻¹ de masa corporal (MC) por día durante 36 a 48 h antes de la competencia (Thomas et al., 2016). Tales prácticas pueden ser favorables para optimizar la disponibilidad de carbohidratos para eventos prolongados sostenidos o intermitentes de alta intensidad que duran >90 min. Sin embargo, cuando la duración de los eventos es <90 min, puede no ser necesario tal consumo agresivo de carbohidratos de la dieta. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Sherman y colaboradores (1981) se encontró que, aunque el aumento del consumo de carbohidratos de la dieta dio lugar a un aumento de las reservas de glucógeno muscular antes del ejercicio, esto no se tradujo en una mejora en el rendimiento de carrera de medio maratón en cinta de correr. Por lo tanto, un enfoque más apropiado sería escalar el consumo de carbohidratos de la dieta para garantizar que haya suficiente glucógeno muscular disponible de acuerdo con las demandas de la competencia posterior, lo que desde una perspectiva práctica podría significar ingestas diarias de carbohidratos que oscilen entre 7 y 12 g·kg⁻¹ MC (Thomas et al.,

2016). Este enfoque también puede preferirse desde la perspectiva del mantenimiento de la masa corporal. Es bien sabido que el agua se almacena en el proceso de síntesis de glucógeno y, por lo tanto, la alimentación excesiva de carbohidratos en relación con las demandas o necesidades del deporte puede resultar en una ganancia de masa corporal innecesaria antes de la competencia.

En relación con el glucógeno muscular, hay comparativamente menos estudios que han explorado cómo optimizar la disponibilidad de glucógeno hepático antes del ejercicio. El glucógeno hepático es crítico, ya que su degradación proporciona glucosa para soportar la estabilidad de la glucosa en sangre durante el ejercicio, el suministro de glucosa en sangre para el cerebro y una fuente de combustible adicional para ejercitar los músculos. A diferencia del glucógeno muscular, parece no ocurrir la *súper compensación* de glucógeno hepático (Gonzalez et al., 2016). Sin embargo, el glucógeno hepático se reduce después de un ayuno nocturno, mientras que el glucógeno muscular permanece estable (Gonzalez et al., 2016). Comenzar el ejercicio con glucógeno hepático repleto asegurará que el glucógeno adecuado esté disponible para mantener las concentraciones de glucosa en la sangre durante el ejercicio. Las guías generales para el abastecimiento de combustible antes del evento son consumir carbohidratos en cantidades que van desde 1 a 4 g·kg⁻¹ MC durante el periodo de 1 a 4 h antes del ejercicio. Curiosamente, en un estudio reciente se encontró que la adición de fructosa a un desayuno rico en carbohidratos mejora la capacidad de resistencia en ciclistas entrenados en comparación con un desayuno rico en carbohidratos a base de glucosa (Podlogar et al., 2022a) (Figura 1). Se propuso, basado en estudios de metabolismo de glucógeno hepático post-ejercicio (Gonzalez et al., 2016), que la alimentación previa al ejercicio con una mezcla de glucosa-fructosa aumentaba el contenido de glucógeno hepático debido al metabolismo preferencial de fructosa en el hígado, y esto reforzó el aumento de la resistencia.

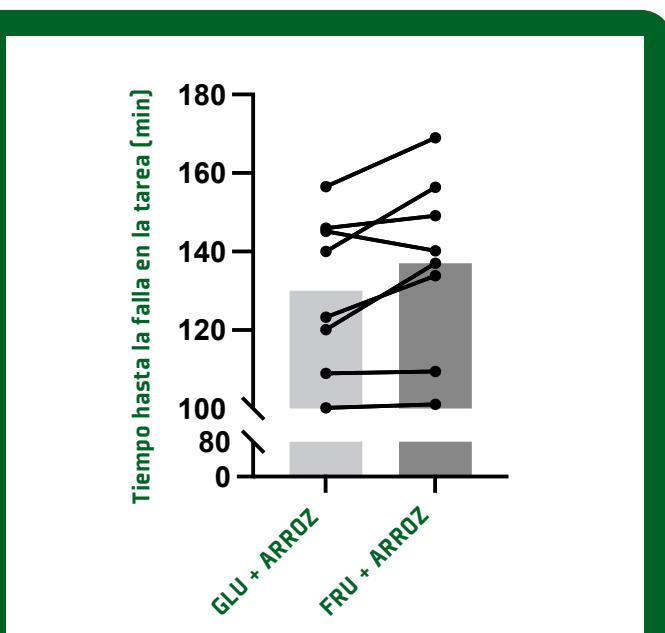


Figura 1: Tiempo hasta la falla en la tarea durante ciclismo a una intensidad correspondiente al primer umbral ventilatorio tras un desayuno de arroz con glucosa añadida (GLU+ARROZ; 130.1±20.0 min) o fructosa añadida (FRU+ARROZ; 137.0±22.7 min, P=0.046). Las barras representan la media, los círculos y las líneas de conexión representan a cada participante (n = 8).

Aunque queda por determinar el mecanismo exacto, esto significa que las estrategias nutricionales que se dirigen al almacenamiento de glucógeno hepático y muscular probablemente representen el enfoque óptimo para el consumo de carbohidratos antes de la competencia o sesiones de entrenamiento intenso.

CONSUMO DE CARBOHIDRATOS DURANTE EL EJERCICIO

Se ha demostrado claramente que la alimentación con carbohidratos durante el ejercicio mejora la capacidad de resistencia o el rendimiento en diversos contextos (Stellingwerff & Cox, 2014). Los efectos positivos de la alimentación con carbohidratos se han atribuido en gran medida a la provisión de una fuente de combustible adicional que sirve para mantener las concentraciones de glucosa en sangre y el uso de carbohidratos como combustible durante el ejercicio mientras se ahorra el uso de las reservas de glucógeno existentes en el cuerpo (es decir, glucógeno hepático y/o muscular) (Stellingwerff & Cox, 2014). Cierta evidencia también sugiere que la alimentación con carbohidratos puede influir positivamente en el sistema nervioso central para mejorar el rendimiento a través de un mecanismo no metabólico, posiblemente a través de la detección oral de carbohidratos (Jeukendrup & Chambers, 2010). Sin embargo, nuestra mayor comprensión de los efectos de la alimentación con carbohidratos es a través de su potencial para contribuir directamente al metabolismo energético durante el ejercicio.

Uno de los enfoques clave para determinar la eficacia potencial de los carbohidratos ingeridos ha sido el uso de técnicas de marcadores isotópicos estables o radioactivos para medir la llamada *oxidación exógena de carbohidratos* (Jeukendrup & Jentjens, 2000). Esto simplemente se refiere a la velocidad a la que se utiliza el carbohidrato ingerido para proporcionar energía durante el ejercicio. Utilizando estos enfoques, se estableció que dentro del rango recomendado para el consumo de carbohidratos durante el ejercicio con duración de 1 a 2.5 h (es decir, 30 a 60 g·h⁻¹), la mayoría de las fuentes de carbohidratos pueden considerarse viables (es decir, glucosa, polímeros de glucosa, glucosa-fructosa [incluida la sacarosa] o mezclas de glucosa-galactosa [incluida la lactosa]) (Jeukendrup, 2011; Odell et al., 2020). En algunas situaciones, particularmente cuando el ejercicio extenuante prolongado excede de 2.5 a 3 h, pueden ser necesarias estrategias más agresivas de alimentación con carbohidratos y la guía actual sugiere que consumir carbohidratos a tasas de hasta 90 g·h⁻¹ puede ayudar a optimizar la disponibilidad de carbohidratos para el rendimiento (Thomas et al., 2016). En estas situaciones, se sugiere que se consuman mezclas de glucosa y fructosa para maximizar la absorción de carbohidratos intestinales y la oxidación exógena de carbohidratos, y minimizar la incidencia de problemas gastrointestinales. Dada la utilidad para las mezclas de glucosa-fructosa en toda la gama de recomendaciones de consumo de carbohidratos (es decir, 30 a 90 g·h⁻¹), parece que estas mezclas dan a los atletas el mayor grado de flexibilidad para modular su consumo de carbohidratos en un evento, si es necesario.

A pesar de la aceptación generalizada de las mezclas de glucosa y fructosa, sigue habiendo debate sobre cuál es la proporción y la dosis más eficaces. Por ejemplo, la mayoría de los estudios y, de hecho, las pautas recomendadas se refieren a una relación glucosa-fructosa 2:1 (Jeukendrup, 2011). Sin embargo, una perspectiva más contemporánea basada en el trabajo de Rowlands y colegas (2015)

sugiere que una relación glucosa-fructosa más cercana a la unidad (es decir, 1:0.8) representa la mezcla más efectiva cuando se considera una combinación de beneficios incluyendo la oxidación exógena de carbohidratos, el confort gastrointestinal y el rendimiento de resistencia. En cuanto a la dosis, en estudios recientes se ha promovido que se considere el consumo de carbohidratos de hasta $120 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ durante el ejercicio (Hearris et al., 2022; Urdampilleta et al., 2020). De hecho, el trabajo de Hearris y colegas (2022) fue revelador al demostrar que el consumo de $120 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ de carbohidratos (en una proporción de 1:0.8 de polímero de glucosa/glucosa-fructosa) en una variedad de formatos (es decir, bebida, gomitas masticables) es tolerable en la práctica y provoca altas tasas de oxidación de carbohidratos exógenos durante el ejercicio. Sin embargo, en nuestro trabajo reciente, si bien se demuestra la superioridad de consumir carbohidratos a $120 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ versus $90 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ durante el ejercicio para la oxidación exógena de carbohidratos, no se pudo mostrar un beneficio adicional de la dosis más alta para disminuir la oxidación endógena de carbohidratos (es decir, glucógeno hepático y/o muscular) (Podlogar et al., 2022b). Por lo tanto, parece prudente establecer si hay alguna ventaja clara en el rendimiento al consumir $120 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ antes de modificar hacia arriba el consenso actual de consumo de carbohidratos a tasas de hasta $90 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ (Thomas et al., 2016).

CONSUMO DE CARBOHIDRATOS DESPUÉS DEL EJERCICIO

El objetivo principal de la nutrición con carbohidratos en el periodo post-ejercicio es la recuperación de las reservas de glucógeno hepático y muscular. La magnitud en que se requiere la alimentación intensiva de carbohidratos después del ejercicio está en gran medida determinada por el grado de agotamiento de glucógeno resultante del ejercicio, el tiempo hasta la sesión de ejercicio posterior y la naturaleza de ese ejercicio (es decir, la intensidad). Para optimizar la síntesis de glucógeno después de un ejercicio exhaustivo, se recomienda a los atletas consumir carbohidratos de índice glicémico moderado a alto tan pronto como sea posible después del ejercicio a una tasa de 1.0 a $1.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{MC}\cdot\text{h}^{-1}$ durante las primeras 4 horas, después de las cuales se sugiere una dieta normal que refleje las necesidades diarias de combustible que pueden ser de hasta $12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{MC}$ (Thomas et al., 2016). Actualmente hay evidencia suficiente para sugerir un mayor refinamiento de las pautas para facilitar la recuperación a corto plazo (es decir, horas después del ejercicio exhaustivo) y posiblemente, incluso la recuperación diaria, particularmente cuando se considera la síntesis específica de glucógeno de depósito tisular. Por ejemplo, se ha observado una mayor síntesis de glucógeno hepático después del ejercicio cuando se consumen fuentes de carbohidratos a base de glucosa-fructosa en comparación con las fuentes de carbohidratos a base de solo glucosa (Decombaz et al., 2011; Fuchs et al., 2016), a pesar de que la fructosa es un carbohidrato de bajo índice glicémico. La síntesis de glucógeno muscular después del ejercicio parece similar entre los carbohidratos de glucosa-fructosa y los de solo glucosa (Trommelen et al., 2016; Wallis et al., 2008). En consecuencia, se ha demostrado que la recuperación a corto plazo de la capacidad de resistencia se mejora con la alimentación de glucosa-fructosa posterior al ejercicio (Gray et al., 2020; Maunder et al., 2018), aunque no siempre se ha visto este potencial ergogénico (Podlogar et al., 2020). Sin embargo, con base en la evidencia actual, se podría recomendar que los atletas que buscan recuperar las reservas de glucógeno lo más



rápido posible consideren ingerir carbohidratos de una combinación de carbohidratos a base de glucosa y fructosa para estimular de manera óptima la resíntesis del glucógeno en el hígado y los músculos (Figura 2).

CARBOHIDRATOS PARA EL ENTRENAMIENTO

Los carbohidratos de la dieta desempeñan un papel fundamental en soportar el entrenamiento desde varias perspectivas. En primer lugar, es de suma importancia un consumo de carbohidratos de la dieta que garantice que la disponibilidad de glucógeno sea suficiente para permitir la ejecución de un programa de entrenamiento prescrito. En este sentido, los enfoques contemporáneos sugieren que el consumo de carbohidratos de la dieta se *periodiza* con base en las demandas del entrenamiento, conocidos en otros lugares como el paradigma del *combustible requerido para el trabajo* (Impey et al., 2018). Tal enfoque abarca un segundo aspecto importante de los carbohidratos de la dieta y el entrenamiento. Es decir, la disponibilidad de carbohidratos en la dieta y, en particular, el glucógeno muscular, se ha considerado que modula directamente la adaptación al entrenamiento de resistencia. Específicamente, el resultado de un glucógeno muscular bajo debido al ejercicio extenuante es una señal clave que inicia la adaptación al entrenamiento a nivel molecular (Philp et al., 2012). Sobre la base de esta premisa, se ha defendido la restricción estratégica de carbohidratos en la dieta (es decir, *entrenar bajo*) alrededor de sesiones de entrenamiento seleccionadas, para aumentar la adaptación al entrenamiento (Impey et al., 2018). Sin embargo, a pesar de las ventajas teóricas de este enfoque, un meta-análisis reciente reveló una escasez de evidencia que apoye la restricción estratégica de carbohidratos para

DURACIÓN	DOMINIO DE INTENSIDAD DEL EJERCICIO		
	Moderada [es decir, por debajo de LT1]	Alta [es decir, entre UL1 y PC/MLSS/UL2]	Severa [es decir, por encima de PC/MLSS/UL2]
<90 minutos	ANTES Bajo a moderado 1-2 g/kg; 1-4 h antes	Moderado a alto 2-4 g/kg; 1-4 h antes	Es esencial comenzar el ejercicio con suficientes reservas de glucógeno muscular 2-4 g/kg; 1-4 h antes
	DURANTE No se requieren carbohidratos durante las sesiones de entrenamiento	Recomendación de consumo de CHO si la disponibilidad de CHO antes de la sesión es limitada 30-60 g/h	No se recomienda una alimentación agresiva; se recomiendan cantidades menores incluyendo enjuague bucal 0-30 g/h o enjuague bucal
>90 minutos	ANTES Bajo a moderado 2-4 g/kg; 1-4 h antes	Alto 3-4 g/kg; 1-4 h antes	Alto 3-4 g/kg; 1-4 h antes
	DURANTE Moderado a alto 30-90 g/h	Alto 60-90 g/h	Alto 60-90 g/h

Figura 3: Marco para la periodización de carbohidratos basado en las demandas de la próxima sesión de ejercicio. La selección del dominio de intensidad de ejercicio se refiere a la intensidad más alta alcanzada durante la sesión de ejercicio. Los requerimientos de carbohidratos se refieren como descriptores cualitativos (es decir, bajos, moderados, altos) proporcionando cantidades indicativas. Tenga en cuenta que los requerimientos exactos de carbohidratos deben personalizarse en función de las demandas de energía esperadas de cada sesión de ejercicio, las preferencias individuales y las tolerancias. CHO - Carbohidratos; UL1 - Umbral de lactato 1; PC - Potencia crítica; MLSS - Máximo estado estable de lactato; UL2 - Umbral de lactato 2. Figura adaptada de Podlogar y Wallis (2022).

aumentar las mejoras inducidas por el entrenamiento en el rendimiento de resistencia (Gejl & Nybo, 2021).

Sin embargo, el enfoque de entrenar bajo puede ofrecer una manera para que los atletas lleven al máximo la adaptación al entrenamiento si tienen tiempos limitados (es decir, es una estrategia eficiente en el tiempo), o para inducir perturbaciones metabólicas adicionales si los atletas han agotado otras posibilidades de mejorar el rendimiento aumentando el volumen de entrenamiento. Aunque la restricción estratégica de carbohidratos puede no ser siempre necesaria, el enfoque periodizado permite el consumo de carbohidratos basado en la necesidad y puede mitigar cualquier potencial de disponibilidad excesiva de carbohidratos que impida la adaptación al entrenamiento. Finalmente, un enfoque periodizado minimizaría el potencial de desarrollo de sobre entrenamiento y/o deficiencia de energía relativa al deporte (RED-S), los cuales parecen tener vínculos con la baja disponibilidad crónica de carbohidratos (Stellingwerff et al., 2021). En la Figura 3 se presenta un marco de referencia para la periodización de carbohidratos en relación con las demandas de la próxima sesión, basado en las premisas anteriores de proporcionar suficientes carbohidratos para el entrenamiento, evitar la resistencia a la adaptación del entrenamiento y minimizar los riesgos para la salud del atleta.

INDIVIDUALIZACIÓN DEL CONSUMO DE CARBOHIDRATOS

Las pautas de consumo de carbohidratos de la dieta para atletas están bien establecidas (por ej., Thomas et al., 2016) y se siguen desarrollando en este artículo. Estos rangos son un buen punto de partida para los

profesionales y atletas y, combinado con un buen conocimiento de las demandas generales de entrenamiento o competencia, es posible desarrollar estrategias nutricionales pragmáticamente eficaces. La aparición de nuevas tecnologías que permiten el potencial para un mejor monitoreo fisiológico o comprensión, trae la oportunidad de desarrollar estrategias personalizadas de nutrición con carbohidratos. Por ejemplo, un conocimiento más individualizado de la utilización de glucógeno muscular en el entrenamiento o la competencia podría ayudar a diseñar una estrategia de carbohidratos de la dieta a la medida. Desafortunadamente, no se ha demostrado en estudios de investigación independientes que sean válidos los métodos no invasivos y rentables que podrían utilizar los profesionales para cuantificar las concentraciones de glucógeno muscular en entornos de campo, como el uso de ultrasonidos (Bone et al., 2021). Hay un número creciente de estudios de investigación que han medido directamente el uso de glucógeno muscular durante varios deportes basados en la resistencia (por ej., Impey et al., 2020) y tal vez estos datos representan actualmente el mejor enfoque práctico con el que los profesionales podrían determinar las demandas relativas de carbohidratos (es decir, baja, media y alta) de ciertas sesiones y adaptar las guías como corresponda. Partiendo de este enfoque, Jagnesakova y colaboradores (2022) han introducido el aprendizaje automatizado (una rama de la inteligencia artificial, basado en algoritmos) como un enfoque para predecir el uso de glucógeno muscular durante el ejercicio basado en estudios de investigación publicados. Con un mayor desarrollo, esto también puede representar una forma no invasiva de predecir la utilización de glucógeno para guiar las estrategias personalizadas de nutrición y ejercicio.

Una tecnología que se discute cada vez más dentro de la comunidad deportiva de resistencia es el uso de la monitorización continua de glucosa (MCG), que tiene como objetivo proporcionar a los atletas información sobre sus respuestas individuales de glucosa en sangre a la nutrición y al ejercicio. Teóricamente, el conocimiento de las respuestas de glucosa en sangre podría permitir a un atleta adaptar su consumo de carbohidratos de una manera que garantice niveles estables de glucosa en sangre durante el ejercicio o al menos evite la aparición de hipoglucemia. Sin embargo, en la actualidad, la evidencia sugiere que el uso de los dispositivos de MCG durante el ejercicio parecen menos precisos que cuando se usan en condiciones de reposo o post-prandial (Clavel et al., 2022; Fabra et al., 2021). Esto sugiere que los dispositivos de MCG pueden proporcionar alguna utilidad para adaptar el consumo de carbohidratos para mantener la estabilidad de la glucosa en sangre en condiciones sin ejercicio, pero se necesita más investigación para entender completamente el potencial de la MCG para ayudar a individualizar el consumo de carbohidratos durante el ejercicio.

APLICACIONES PRÁCTICAS

- La competencia de resistencia o el entrenamiento intenso de alta calidad deben ir precedidos de consumos diarios de carbohidratos que van desde 7 a 12 g·kg⁻¹MC dependiendo de las demandas energéticas.
- Se recomienda consumir cantidades de carbohidratos de 1 a 4 g·kg⁻¹MC en las 1 a 4 h antes del ejercicio para un ejercicio de duración >60 min; la combinación de fuentes de carbohidratos de glucosa y fructosa puede beneficiar el rendimiento de resistencia.
- Durante el ejercicio de duración >60 min, se recomienda un consumo de carbohidratos que va desde 30 a 90 g·h⁻¹. Una variedad de tipos de carbohidratos (es decir, glucosa, polímeros de glucosa, sacarosa, lactosa, glucosa-fructosa o mezclas de glucosa-galactosa) puede apoyar los objetivos de consumo moderado de carbohidratos (es decir, 30 a 60 g·h⁻¹). A dosis más altas (es decir, de 60 a 90 g·h⁻¹) las mezclas de glucosa-fructosa son preferibles.
- Para la recuperación del ejercicio de resistencia extenuante, se recomienda el consumo de carbohidratos de índice glicémico moderado a alto con énfasis en incluir carbohidratos a base de glucosa-fructosa tan pronto como sea posible después del ejercicio a una tasa de 1.0 a 1.2 g·kg⁻¹MC·h⁻¹ durante las primeras 4 horas, y después se recomienda una dieta normal que refleje las necesidades diarias de combustible.
- El consumo de carbohidratos para el entrenamiento debe adoptar un enfoque periodizado basado en las demandas de entrenamiento, que permitan la ejecución del programa de entrenamiento prescrito, para obtener las adaptaciones máximas mientras se minimiza el riesgo de desarrollo de una deficiencia energética relativa en el deporte (RED-S).

RESUMEN

A pesar de décadas de intensa investigación en carbohidratos dentro del campo de la nutrición deportiva, se siguen generando nuevos conocimientos con el potencial de informar la práctica. Para garantizar una disponibilidad suficiente de glucógeno muscular, la competencia de resistencia o el entrenamiento intenso de alta calidad deben ir precedidos de ingestas diarias de carbohidratos de la dieta ajustadas a las exigencias del ejercicio posterior. La optimización del contenido de glucógeno hepático y muscular en las horas antes e inmediatamente después del ejercicio son objetivos importantes para la nutrición con carbohidratos. En este sentido, las estrategias nutricionales que combinan las fuentes de glucosa y fructosa parecen ser las más beneficiosas para mejorar el rendimiento y la recuperación. Los atletas que buscan beneficiarse de la alimentación con carbohidratos durante el ejercicio pueden elegir entre una amplia gama de fuentes de carbohidratos fácilmente oxidables, con mezclas de glucosa-fructosa (incluida la sacarosa) que ofrecen la mayor flexibilidad para la modulación del consumo de carbohidratos dentro del evento. Finalmente, un enfoque periodizado de la ingesta de carbohidratos de la dieta en torno al entrenamiento, asegurará que los atletas tengan suficiente combustible para ejecutar las demandas de entrenamiento, maximizar la adaptación y minimizar el potencial de consecuencias adversas para la salud o el rendimiento (por ejemplo, a través del desarrollo de RED-S).

Las opiniones expresadas son las de los autores y no reflejan necesariamente la posición o política de PepsiCo, Inc.

REFERENCIAS

- Bergstrom, J., and E. Hultman (1967). A study of glycogen metabolism in man. *J. Clin. Lab. Invest.* 19:218-228.
- Bone, J.L., M.L. Ross, K.A. Tomcik, N.A. Jeacocke, A.K.A. McKay, and L.M. Burke (2021). The validity of ultrasound technology in providing an indirect estimate of muscle glycogen concentrations is equivocal. *Nutrients* 13:2371.
- Clavel, P., E. Tiollier, C. Leduc, M.Fabre, M. Lacombe, and M. Buchheit (2022). Concurrent validity of a continuous glucose-monitoring system at rest and during and following a high-intensity interval training session. *Int. J. Sports Physiol. Perf.* 17:627–633.
- Décombaz, J., R. Jentjens, M. Ith, F. Scheurer, T. Buehler, A. Jeukendrup, and C. Boesch (2011). Fructose and galactose enhance postexercise human liver glycogen synthesis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43:1964-1971.
- Fabra, E.M., J.L. Diez, J. Bondia, and A.J.L. Sanz (2021). A comprehensive review of continuous glucose monitoring accuracy during exercise periods. *Sensors (Basel)*. 21(2) 479-498.
- Fuchs, C.J., J.T. Gonzalez, M. Beelen, N.M. Cermak, F.E. Smith, P.E. Thelwall, R. Taylor, M.I. Trenell, E.J. Stevenson, and L.J. van Loon (2016). Sucrose ingestion after exhaustive exercise accelerates liver, but not muscle glycogen repletion compared with glucose ingestion in trained athletes. *J. Appl. Physiol.* 120:1328-1334.
- Gejl, K.D., and L. Nybo (2021). Performance effects of periodized carbohydrate restriction in endurance trained athletes - a systematic review and meta-analysis. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 8:37.
- Gonzalez, J.T., C.J. Fuchs, J.A. Betts, and L.J. van Loon (2016). Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *Am. J. Physiol.* 311:E543-E553.
- Gray, E.A., T.A. Green, J.A. Betts, and J.T. Gonzalez (2020). Postexercise glucose–fructose coingestion augments cycling capacity during short-term and overnight recovery from exhaustive exercise, compared with isocaloric glucose. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab* 30:54–61.

- Harris, M.A., J.N. Pugh, C. Langan-Evans, S.J. Mann, L. Burke, T. Stellingwerff, J.T. Gonzalez, and J.P. Morton (2022). 13C-glucose-fructose labelling reveals comparable exogenous CHO oxidation during exercise when consuming 120 g/h in fluid, gel, jelly chew or co-ingestion. *J. Appl. Physiol.* 132:1394-1406.
- Impey, S.G., E. Jevons, G. Mees, M. Cocks, J. Strauss, N. Chester, I. Laurie, D. Target, A. Hodgson, S.O. Shepherd, and J.P. Morton (2020). Glycogen utilization during running: intensity, sex, and muscle-specific responses. *Med. Sci. Sports Exerc.* 52:1966–1975.
- Jagnesakova, D., D.M. Dunne, J.L. Areta, C.E. Lefevre, X. Yan, R. Mazorra, and S. Impey (2022). A machine learning approach to predicting muscle glycogen use during exercise. 2022. *Nutrients* - in review.
- Jeukendrup, A.E. (2011) Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *J. Sports Sci.* 29:S91-S99.
- Jeukendrup, A.E., and R. Jentjens (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise. *Sports Med.* 29:407–424.
- Jeukendrup, A.E., and E.S. Chambers. Oral carbohydrate sensing and exercise performance. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 13:447-451.
- Maunder, E., T. Podlogar, and G.A. Wallis (2018). Postexercise fructose–maltodextrin ingestion enhances subsequent endurance capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 50:1039–1045.
- Odell, O.J., T. Podlogar, and G.A. Wallis (2020). Comparable exogenous carbohydrate oxidation from lactose or sucrose during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 52:2663–2672.
- Olsson, K. E., and B. Saltin (1970). Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. *Acta Physiol. Scand.* 80:11–18.
- Philp, A., M. Hargreaves, and K. Baar (2012). More than a store: Regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *Am. J. Physiol.* 302:E1343-E1351.
- Podlogar, T., and G.A. Wallis (2020). Impact of post-exercise fructose-maltodextrin ingestion on subsequent endurance performance. *Front. Nutr.* 7:82.
- Podlogar, T., and G.A. Wallis (2022). New horizons in carbohydrate research and application for endurance athletes. *Sports Med.* In press.
- Podlogar, T., S. Cirnski, S. Bokal, N. Verdell, and J. Gonzalez (2022a). Addition of fructose to a carbohydrate-rich breakfast improves cycling endurance capacity in trained cyclists. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* In press.
- Podlogar, T., S. Bokal, S. Cirnski, and G.A. Wallis (2022b). Increased exogenous but unaltered endogenous carbohydrate oxidation with combined fructose-maltodextrin ingested at 120 g·h⁻¹ versus 90 g·h⁻¹ at different ratios. *Eur. J. Appl. Physiol.* In press.
- Rowlands, D.S., S. Houltham, K. Musa-Veloso, F. Brown, L. Paulionis, and D. Bailey (2015). Fructose–glucose composite carbohydrates and endurance performance: critical review and future perspectives. *Sports Med.* 45:1561–1576.
- Sherman, W.M., D.L. Costill, W.J. Fink, and J.M. Miller (1981). Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int. J. Sports Med.* 2:114–118.
- Stellingwerff, T., and G.R. Cox (2014). Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 39:998-1011.
- Stellingwerff, T., I.A. Heikura, R. Meeusen, S. Bermon, S. Seiler, M.L. Mountjoy, and L.M. Burke (2021). Overtraining syndrome (OTS) and relative energy deficiency in sport (RED-S): Shared pathways, symptoms and complexities. *Sports Med.* 51:2251-2280.
- Thomas, D.T., K.A. Erdman, and L.M. Burke (2016). Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48:543–568.
- Trommelen, J., M. Beelen, P.J. Pinckaers, J.M. Senden, N.M. Cermak, and L.J. Van Loon (2016). Fructose coingestion does not accelerate postexercise muscle glycogen repletion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48:907-912.
- Urdampilleta, A., S. Arribalzaga, A. Viribay, A. Castañeda-Babarro, J. Seco-Calvo, and J. Mielgo-Ayuso (2020). Effects of 120 vs. 60 and 90 g/h carbohydrate intake during a trail marathon on neuromuscular function and high intensity run capacity recovery. *Nutrients* 12:2094.
- Wallis, G.A., C.J. Hulston, C.H. Mann, H.P. Roper, K.D. Tipton, and A.E. Jeukendrup (2008). Postexercise muscle glycogen synthesis with combined glucose and fructose ingestion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40:1789–1794.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Wallis, G.A. and Podlogar, T. (2022). Dietary carbohydrate and the endurance athlete: Contemporary perspectives. *Sports Science Exchange* Vol. 35, No. 231, 1-6, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.