

Módulo 1. El rol de los carbohidratos en la dieta de los jugadores

Unidad 1.1 Una introducción a los carbohidratos

Dr. Ian Rollo: Gatorade Sports Science Institute

El objetivo de este curso es expandir su comprensión de los macronutrientes en la dieta de los jugadores. En la primera unidad de cada módulo, se presentará el macronutriente de interés. En la segunda unidad, se analizarán los macronutrientes relevantes para el fútbol. Conocer cada macronutriente proporcionará la base sobre cómo componer las comidas y manipular la dieta de los jugadores para lograr las metas de salud, desempeño y composición corporal. Los carbohidratos son uno de los macronutrientes más estudiados en las disciplinas de nutrición deportiva y ciencia del fútbol. Esto se debe a que, durante casi 100 años, la ingesta de carbohidratos se ha asociado con un mejor desempeño en el ejercicio y el fútbol. Específicamente, se ha sabido por mucho tiempo que la disponibilidad de carbohidratos es importante para proporcionar combustible a los músculos y al sistema nervioso central de los jugadores. Por lo tanto, la disponibilidad de carbohidratos es vital para el mantenimiento de la carrera de alta intensidad y las habilidades necesarias para la actividad futbolística. Se resumirán la digestión y la absorción de carbohidratos, de modo que se puedan entender los factores que aceleran o inhiben la provisión de carbohidratos al cuerpo de los jugadores. Se identificarán las fuentes alimentarias comunes de carbohidratos y, finalmente, se discutirán los mecanismos por los cuales los carbohidratos pueden influir en el desempeño.

Carbohidratos

Los carbohidratos están compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno. La estructura general de los carbohidratos es: CH_2O . La estructura química de la glucosa es $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

PUNTO CLAVE

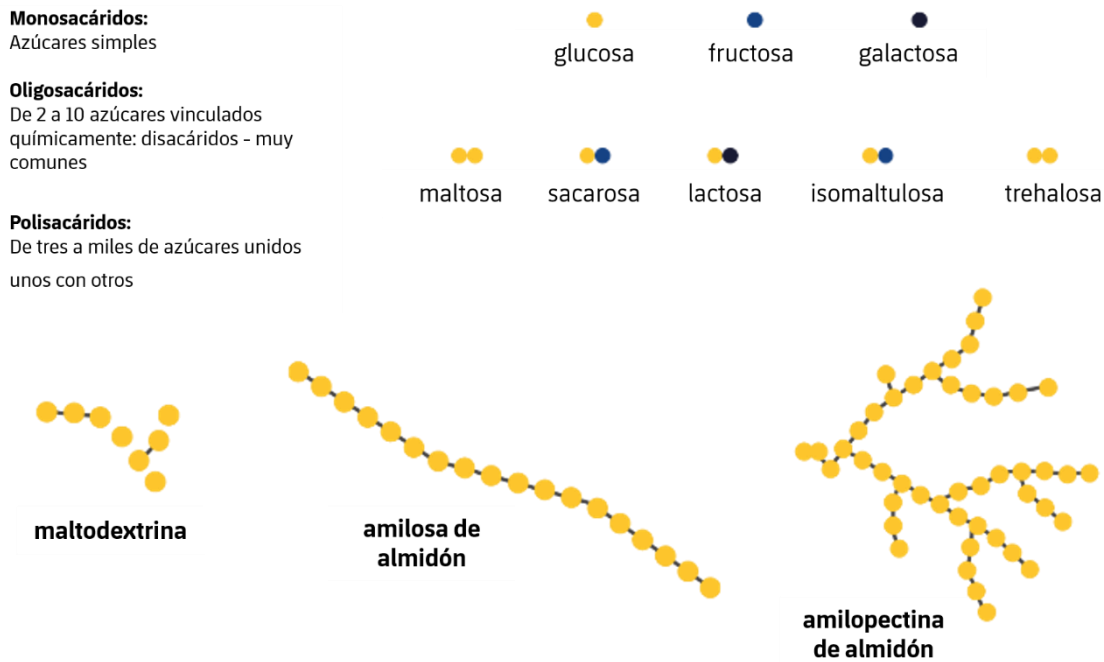
Los carbohidratos incluyen todos los azúcares, almidones y fibras en la dieta de un jugador.

En general, los carbohidratos pueden clasificarse por el número de monosacáridos (azúcares simples) que contienen. Los azúcares simples se unen mediante enlaces glucosídicos y forman dos o más azúcares en secuencia. Disacárido es el término usado para referirse a dos azúcares unidos, lo cual es muy común. Un polisacárido



es una cadena de tres a miles de azúcares (Figura 1). Los carbohidratos con una gran cantidad de azúcares de glucosa se llaman almidones. La amilosa es un almidón de cadena lineal y es más resistente a la digestión en comparación con la amilopectina, que es un almidón de cadena ramificada.

Figura 1: Clasificación de carbohidratos por estructura



Fuente: elaboración propia.

¿SABÍA QUE...?

Sacárido es otra palabra para azúcar.

Digestión y absorción de carbohidratos

Las reservas de carbohidratos en el cuerpo de los jugadores son finitas. Por lo tanto, para mantener el suministro de energía para el metabolismo de los músculos (y el cerebro), los carbohidratos se deben reponer. Por lo tanto, en el fútbol, las intervenciones más frecuentes utilizadas para influir en el desempeño de un jugador involucran la ingesta de fuentes alimentarias de carbohidratos. En consecuencia, la efectividad de las intervenciones nutricionales depende de la regulación y la absorción de los carbohidratos por parte del tracto gastrointestinal (GI).

El tracto GI es un tubo de aproximadamente nueve metros de largo que se extiende desde la boca hasta el ano del jugador. Cuando los jugadores ingieren alimentos, estos se mueven a lo largo del tracto GI impulsados por fuertes movimientos peristálticos. A medida que los alimentos se mueven por del tracto GI, se mezclan

con grandes secreciones de líquido que contienen varias enzimas que ayudan en la digestión y la absorción de nutrientes.

¿SABÍA QUE...?

Cuando se ingieren alimentos, se mastican y se mezclan hasta formar una pequeña masa redonda. Cuando esta masa se traga, pasa a llamarse 'bolo'.

La digestión de carbohidratos comienza en la boca del jugador. Los alimentos se descomponen mecánicamente mediante la masticación y se mezclan con la saliva secretada por las glándulas salivales. La amilasa salival comienza la descomposición del almidón en oligosacáridos más pequeños. Es en la boca donde la lengua comienza el análisis del alimento, y determina si es nutritivo (es decir, azúcar) y debe ingerirse o si es potencialmente dañino y, por lo tanto, debe ser expectorado (Katz, Nicoletis et al. 2000).

La palatabilidad de las soluciones es una consideración importante al suministrar bebidas a los jugadores. Varios estudios han informado que las bebidas con saborizantes o edulcorantes pueden aumentar sustancialmente la ingesta voluntaria de líquidos durante el ejercicio y la recuperación del ejercicio (Passe, Horn et al. 2000). Sin embargo, se recomienda comprender y proporcionar varios sabores diferentes de bebidas que el jugador prefiera. Esto permitirá cambiar el sabor de las bebidas durante la semana o durante la temporada para evitar la fatiga del sabor.

¿SABÍA QUE...?

Masticación es otra palabra para masticar

Los alimentos y las bebidas pasan de la boca al estómago del jugador. En el estómago, los alimentos se mueven vigorosamente para mezclarse con los jugos gástricos, que secretan las glándulas del estómago, y formar el quimo. El estómago actúa como un depósito de alimentos y, al mismo tiempo, de manera intermitente, envía el quimo al intestino. Los alimentos ingeridos permanecen en el estómago entre 1 y 4 horas.

La absorción de nutrientes se produce casi completamente a través de las paredes del intestino delgado. Por lo tanto, los beneficios de ingerir carbohidratos y líquidos en reposo o durante el ejercicio de fútbol solo se obtienen luego del traslado del quimo desde el estómago hasta el duodeno (vaciado gástrico). Se han investigado numerosos factores, como la temperatura (Costill and Saltin 1974), la osmolalidad (Brouns, Senden et al. 1995) y el pH (Hunt and Knox 1968) como posibles factores reguladores del vaciado gástrico. Sin embargo, ninguno parece ser más importante que el volumen o el contenido de energía de los alimentos ingeridos.

PUNTO CLAVE



Los beneficios de ingerir carbohidratos y líquidos en reposo o durante el ejercicio solo se obtienen luego del traslado del quimo (alimentos) desde el estómago hasta los intestinos.

Densidad de la energía

El agua se vacía rápidamente del estómago. A medida que se agregan carbohidratos a la solución, típico de las bebidas deportivas, el contenido de energía de la solución aumenta y la tasa de vaciado gástrico disminuye. Los estudios que investigan la ingesta de volúmenes equivalentes de soluciones han informado que las bebidas que tienen un contenido de carbohidratos de 2,5 % o menos se vacían aproximadamente a la misma velocidad que el agua. Se ha demostrado que el aumento de la concentración de carbohidratos en la solución al 4-5 % genera una pequeña pero significativa ralentización del vaciado gástrico (Costill and Saltin 1974). Más recientemente, se sugirió que el vaciado gástrico podría aumentarse al incluir una mezcla de carbohidratos en la solución ingerida. Por ejemplo, se ha demostrado que la adición de fructosa a una solución de glucosa aumenta el suministro de líquidos en comparación con una solución de solo glucosa (Jeukendrup and Moseley 2008). El hecho de que la mayoría de las bebidas deportivas tengan una concentración de carbohidratos del 5 al 8 % refleja el equilibrio entre el mantenimiento de una alta tasa de vaciado gástrico y el suministro de concentraciones adecuadas de carbohidratos al intestino. Es por esta razón que sería recomendable que los jugadores consumieran bebidas con carbohidratos al 6 % durante el partido o las pausas en el juego.

Volumen gástrico

El estómago es altamente distensible, puede cambiar su capacidad de aproximadamente 50 ml cuando está vacío a 1000 ml cuando está lleno, con solo cambios mínimos en la presión gástrica (Maughan and Murray 2001). El volumen gástrico es un determinante importante de la tasa de vaciado gástrico. Por ejemplo, se demostró que la ingesta de diferentes volúmenes de una solución de glucosa diluida (200, 400, 600, 800 y 1000 ml) influye en la tasa de vaciado gástrico, registrada en los 15 minutos posteriores la ingesta (Costill and Saltin 1974). La ingesta de 600 ml generó una mayor tasa de vaciado en comparación con 400 ml, que se vaciaron más rápido que 200 ml. Sin embargo, cuando se ingirieron volúmenes superiores a 600 ml, no hubo ningún beneficio adicional con respecto a la tasa de vaciado gástrico. Esto sugiere que existe un límite en el que la ingesta adicional de líquidos no genera ningún beneficio adicional para el vaciado gástrico. Por supuesto, sugerir la ingesta de volúmenes de 600 ml o más no es algo práctico y no sería recomendable para los jugadores antes del entrenamiento o los partidos.

Los estudios que han empleado un diseño de bebida repetida sugieren que el volumen gástrico y, por lo tanto, el patrón de bebida durante el ejercicio tienen una influencia significativa en la tasa de suministro de carbohidratos y agua de cualquier solución (Noakes, Rehrer et al. 1991). De este modo, volver a llenar el estómago a intervalos regulares asegura que el volumen del estómago se mantenga alto y se puedan mantener tasas más rápidas de vaciado gástrico. Sin embargo, desafortunadamente, este patrón de bebida no es posible durante un partido de fútbol. En cambio, la ingesta de carbohidratos se puede lograr al ingerir bebidas con mayor concentración de carbohidratos (12 %) antes del partido y en el entretiempo, con una ingesta de agua a voluntad para satisfacer las necesidades individuales de líquidos (Funnell, Dykes et al. 2017, Harper, Stevenson et al. 2017).

Absorción de carbohidratos

Después de dejar el estómago, el quimo ingresa en el duodeno, que es la primera parte del intestino delgado que une el estómago con el yeyuno. El duodeno recibe bilis de la vesícula biliar y secreciones pancreáticas, importantes para facilitar la absorción de las grasas y la digestión de las proteínas.

El yeyuno (de aproximadamente 2,5 m de longitud) es un tubo largo y enrevesado, caracterizado por contracciones peristálticas fuertes y rápidas que recorren toda su extensión. La mayor parte de la absorción de nutrientes (carbohidratos, electrolitos y agua) ocurre en la región del yeyuno. Los carbohidratos que entran en el intestino delgado primero deben ser hidrolizados hasta monosacáridos constituyentes para su absorción y utilización (Holdsworth and Dawson 1964). El agua se absorbe pasivamente como resultado de un gradiente osmótico creado entre el lumen intestinal y el espacio intersticial por el movimiento de la glucosa, el sodio (Na⁺) y otros nutrientes.

La digestión terminal de carbohidratos ocurre en el epitelio intestinal o sobre la superficie de este (Holmes 1971). Los disacáridos se encuentran en la membrana microvellosa y del borde en cepillo. “El borde en cepillo contiene varias disacaridasas que hidrolizan los productos finales de la digestión de la α -amilasa pancreática. De esta manera, la maltasa actúa sobre la glucosa liberadora de maltosa; la sacarasa sobre la glucosa y la fructosa liberadoras de sacarosa; y la lactasa hidroliza la lactosa a glucosa y galactosa” (Holmes 1971).

Los mecanismos de transporte implicados en la absorción de monosacáridos del lumen intestinal se encuentran en el borde en cepillo de las células epiteliales. La absorción de glucosa se produce principalmente en combinación con el transporte activo de Na⁺. Los monosacáridos dietéticos son transportados a través de la

membrana del borde en cepillo de los enterocitos (células de absorción intestinal) por parte del cotransportador de Na⁺/glucosa SGLT1 (Dyer, Vayro et al. 2003). La glucosa y la galactosa compiten por el mismo transporte. La fructosa es absorbida por un sistema de transporte aparte (Holdsworth and Dawson 1964). La fructosa es transportada por un transportador de proteínas diferente, GLUT-5 (Kristiansen, Darakhshan et al. 1997), que no es dependiente de Na⁺ y se absorbe con menos rapidez que la glucosa (Fordtran 1975). El sistema porta hepático es un sistema de vasos sanguíneos que consiste en venas porta hepáticas que transportan los nutrientes absorbidos desde el intestino hasta el hígado del jugador para su procesamiento.

La sección final del intestino delgado es el íleon (de aproximadamente 3,6 m de longitud), que proporciona una reserva de capacidad de absorción. El íleon termina en la válvula ileocecal, donde comienza el intestino grueso. El intestino grueso (de aproximadamente 1,6 m de longitud) consiste en el ciego, el apéndice, el colon y el canal anal. El colon es la parte principal, que consta de tres secciones relativamente rectas: el colon ascendente, el colon transversal y el colon descendente; y el colon sigmoide que conduce al recto y, a su vez, al canal anal. El intestino grueso recibe el subproducto líquido de la digestión. La absorción de la mayor parte del agua y los electrolitos a lo largo de su tracto forma la consistencia sólida de las heces. La peristalsis es más lenta y menos propulsora en el intestino grueso en comparación con el intestino delgado. Los alimentos pueden permanecer en el intestino grueso desde aproximadamente 10 horas hasta varios días.

¿SABÍA QUE...?

La fatiga del sabor se refiere al hecho de que los jugadores se “hastían” del sabor de una bebida o un alimento. Si esto sucede, puede dificultar el fomento de la ingesta voluntaria de líquidos. Poder proporcionar una variedad de sabores reduce el riesgo de fatiga del sabor durante una temporada.

Glucógeno

Los carbohidratos están disponibles para los músculos que trabajan a partir de la glucosa en sangre y el glucógeno muscular. Las reservas de glucógeno se encuentran en el hígado (de 80 a 100 g) y los músculos (de 250 a 500 g), y también hay una pequeña reserva energética de glucógeno en el cerebro (de 3 a 4 mol/g).

La estructura del gránulo de glucógeno consiste en cadenas de tipo A y tipo B. Ambas cadenas son de longitud uniforme con un valor medio de trece residuos de glucosa. Las cadenas A no son ramificadas (enlaces glucosídicos 1-4), mientras que las cadenas B son ramificadas, cada una con dos puntos de ramificación (enlaces

glucosídicos 1-6) que crean cadenas A o B. Hay 4 residuos de glucosa entre las ramas y una cola después de la segunda rama en las cadenas B. La glucógeno fosforilasa solo puede funcionar en las cadenas A, ya que la cola de la cadena B es demasiado corta (aproximadamente 4 residuos de glucosa, el límite de la acción de la fosforilasa). Como consecuencia del grado de ramificación ($r = 2$), el número de cadenas en cualquier nivel es el doble que el del anterior. Por lo tanto, la molécula de glucógeno se organiza en una forma esférica y se distribuye en niveles concéntricos, con cada cadena A en el nivel más externo. La disposición de la glucosa en el polímero de glucógeno es una forma muy eficiente de acumular grandes cantidades de glucosa, sin causar un cambio significativo en la osmolalidad celular (Meléndez-Hevia, Waddell et al. 1993). En el hígado, el glucógeno puede formarse directamente por la glucosa ingerida o por precursores gluconeogénicos, como el lactato, la alanina y el piruvato (Katz and McGarry 1984).

Figura 2. Estructura del glucógeno

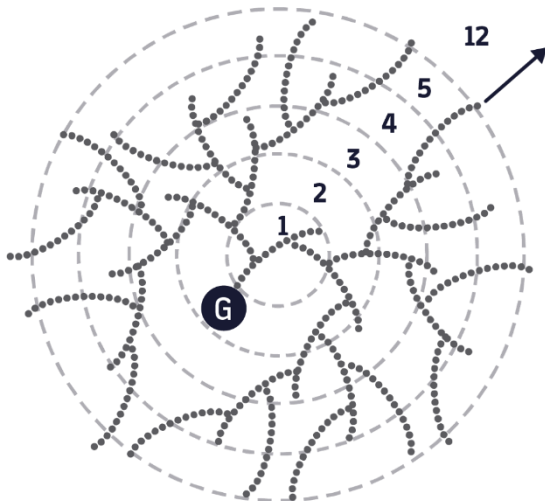


Figura 2: La molécula tiene una forma esférica con 12 niveles concéntricos en la molécula completa (solo se muestran 5 en el diagrama). La glucogenina (G), el cebador de proteínas para la síntesis de glucógeno, se encuentra en el núcleo del gránulo.

Fuente: Adaptado de Meléndez-Hevia y cols., 1993.

¿SABÍA QUE...?

La glucógeno fosforilasa es la enzima que descompone la molécula de glucógeno en unidades de azúcar simple (glucosa).

PUNTO CLAVE

El almacenamiento de carbohidratos como glucógeno permite la acumulación de una gran cantidad de glucosa citoplásmica, sin causar un cambio significativo en la osmolalidad celular.

Reconocimiento central

Existen pruebas emergentes de una respuesta “central” a la ingesta de carbohidratos. Esto se ha investigado mediante el uso de resonancia magnética funcional (fMRI, un método que puede medir la actividad del cerebro). En un estudio, algunos participantes ingirieron 300 ml de agua (control), otros una solución de glucosa, otros una solución de aspartamo (sabor dulce) y otros una solución de maltodextrina (carbohidrato no dulce). Se informó que tanto el sabor dulce como el contenido de energía son necesarios para una respuesta hipotalámica (Smeets, de Graaf et al. 2005).

Además, se informó que la activación del hipotálamo es dependiente de la dosis de carbohidratos, es decir, a mayor concentración de carbohidratos, mayor es la respuesta. Por lo tanto, se observó una relación entre la respuesta hipotalámica y los cambios en la concentración de insulina en la sangre (Smeets, de Graaf et al. 2005).

Se ha informado que tanto la glucosa (dulce) como la maltodextrina (no dulce) en la boca activan regiones en el cerebro asociadas con la recompensa. Estos hallazgos sugieren que puede haber una clase de receptores orales, hasta ahora no identificados, que pueden detectar y responder a los carbohidratos, independientemente de la dulzura (Chambers, Bridge et al. 2009). También se cree que las regiones del cerebro asociadas con la recompensa median las respuestas conductuales a estímulos gratificantes, tales como el gusto (Rolls 2007).

Tipo de carbohidratos

Diferentes tipos de carbohidratos provocan diferentes respuestas fisiológicas después de la ingesta. Esto se debe a que los carbohidratos se digieren a diferentes ritmos, lo que influye en las concentraciones de glucosa en sangre de los jugadores. Los alimentos con carbohidratos se clasifican comúnmente como 'simples' o 'complejos'. La clasificación se basa en gran medida en la cantidad de fibra que contiene la fuente de carbohidratos, que influye en su digestión y absorción, y posteriormente, en su impacto en las concentraciones de glucosa en sangre del jugador.

El índice glucémico es un método utilizado para clasificar la manera en que los alimentos con carbohidratos afectan las concentraciones de glucosa en sangre después de consumirlos (Stevenson, Williams et al. 2005). Por lo tanto, una clasificación más precisa de los carbohidratos se basa en la respuesta glucémica dos horas después de la ingesta de una cantidad estándar de alimentos. El alimento de referencia suele ser la glucosa o el pan blanco, que tiene un índice glucémico de 100. Esos carbohidratos que generan un aumento lento y un pico bajo en las

concentraciones de glucosa en sangre se denominan carbohidratos de “bajo índice glucémico”. Esos carbohidratos que generan un aumento rápido y un pico alto en las concentraciones de glucosa en sangre se denominan carbohidratos de “alto índice glucémico”. El índice glucémico de los carbohidratos se puede calcular de la siguiente manera:

Índice glucémico = Área bajo la curva del alimento de prueba/áreas bajo la curva para el alimento de referencia x 100.

El valor de los carbohidratos de alto índice glucémico se encuentra entre 71 y 100; los alimentos con índice glucémico moderado se encuentran entre 56 y 70, y los carbohidratos de bajo índice glucémico tienen una puntuación equivalente o inferior a 55. En la Figura 3, se muestran ejemplos de alimentos de índice glucémico alto, moderado y bajo.

Figura 3. Ejemplos de alimentos con carbohidratos de índice glucémico alto, moderado y bajo

Alto	Moderado	Bajo
<ul style="list-style-type: none">• glucosa• sacarosa• caña• miel de maple• jarabe de maíz• miel• hojuelas de maíz• pasas• arroz blanco• pan blanco	<ul style="list-style-type: none">• pan integral• espagueti (pasta)• maíz• avena• naranja• uvas	<ul style="list-style-type: none">• lentejas• yogur• maní• guisantes• frijoles• manzana• melocotón• pera• higos• leche

Fuente: elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que el índice glucémico de cualquier alimento puede variar considerablemente entre los jugadores. La cantidad total de carbohidratos que consume un jugador también es importante. Además, el principio del índice glucémico es limitado, ya que los jugadores generalmente ingieren “alimentos” y “comidas” que contienen una variedad de fuentes de carbohidratos, así como otros nutrientes. Es inusual que los jugadores ingieran carbohidratos de manera aislada, con excepción de antes y durante el ejercicio de manera aguda, lo cual se tratará en la siguiente sección. Los alimentos enumerados en la Figura 3 tienen como objetivo proporcionar una guía. El conocimiento de los alimentos de alto índice glucémico, por ejemplo, puede ser útil cuando se intenta reducir la cantidad de alimentos

densos en energía en la dieta de un jugador mientras se maneja la composición corporal. En general, reemplazar los alimentos con alto índice glucémico por alimentos con un índice glucémico más bajo, como frijoles, lentejas, frutas y verduras, mejora la saciedad del jugador, constituye una buena elección de carbohidratos y puede ayudar al jugador a controlar su peso corporal. Al traducir este consejo al jugador, usar términos más comunes como “simple” y “complejo” y aplicarlos a diferentes alimentos puede ser más accesible y puede ayudarlos a elegir mejor los carbohidratos según los requisitos.

PUNTO CLAVE

El rendimiento energético de los carbohidratos es de 4 kcal/g de carbohidratos.

Ingesta de carbohidratos durante el ejercicio

La ingesta de carbohidratos durante el ejercicio tiene varios efectos clave, que pueden potencialmente influir en el desempeño del fútbol. La ingesta de carbohidratos, especialmente durante el ejercicio de fútbol prolongado (>60 minutos) e intenso (>60 % de captación máxima de oxígeno) ayuda a retrasar la aparición de la fatiga al realizar lo siguiente:

- preservar las concentraciones de glucosa en sangre;
- mantener la tasa requerida de oxidación de carbohidratos;
- reducir la degradación del glucógeno hepático;
- reducir la degradación del glucógeno muscular.

Los estudios de investigación han investigado el efecto y la eficacia de ingerir diferentes tipos de carbohidratos durante el ejercicio. Se utilizan técnicas especiales para determinar la cantidad de carbohidratos que se han extraído de la sangre y se han utilizado para el metabolismo de la energía. Este método captura cuándo y cuánto de los carbohidratos ingeridos se utiliza, y se puede hacer una comparación entre los diferentes tipos de carbohidratos.

Gran parte de nuestra comprensión sobre los carbohidratos utilizados durante el ejercicio se basa en los estudios del profesor Asker Jeukendrup, la profesora Louise Burke y sus respectivos grupos de investigación (Burke, Hawley et al. 2011). Durante el ejercicio, la mayor parte de la oxidación de carbohidratos tiene lugar dentro del músculo. Cuando los carbohidratos se ingieren durante el ejercicio y aparecen en la circulación, serán utilizados por los músculos (Jeukendrup, Wagenmakers et al. 1999). Se ha demostrado que aumentar la cantidad de carbohidratos ingeridos durante el ejercicio de 1 g/min a 3 g/min no influye en la tasa a la que el cuerpo utiliza los carbohidratos (Jentjens, Cale et al. 2003). En cambio, ingerir diferentes tipos de

carbohidratos puede mejorar el uso de carbohidratos durante el ejercicio. La tasa de uso de carbohidratos ingeridos (exógenos) suele tener su pico a los 60 minutos y más allá de la siguiente ingesta.

Se ha investigado la ingesta de carbohidratos durante el ejercicio, incluidos los polímeros de glucosa, la fructosa, la galactosa, la sacarosa, la maltosa y la glucosa (Figura 1). En resumen, el músculo utiliza la glucosa a una tasa de 0,8 g/min. La fructosa se oxida a tasas más bajas que la glucosa, y las tasas de oxidación de la galactosa son la mitad de las de glucosa (Burelle, Lamoureux et al. 2006). Estas diferencias se deben a la absorción antes mencionada de los diferentes carbohidratos y al hecho de que la fructosa y la galactosa deben llegar al hígado y convertirse primero en glucosa, antes de que puedan utilizarse para el metabolismo en el músculo. El disacárido maltosa y los polímeros de glucosa se utilizan a la misma tasa que la glucosa. Esto sugiere que la digestión de estas fuentes de carbohidratos no es un factor limitante para su uso. Curiosamente, se ha demostrado que la ingesta de sacarosa (glucosa + fructosa) produce altas tasas de uso de carbohidratos. Las fuentes de carbohidratos menos comunes, como la isomaltulosa y la trehalosa, se oxidan a tasas más bajas. Los diferentes tipos de carbohidratos pueden, en general, dividirse en dos categorías: (A) carbohidratos rápidos, que son aquellos que se usan rápidamente durante el ejercicio (hasta aproximadamente 60 g/h o 1 g/min); (b) carbohidratos lentos, que son aquellos que se oxidan relativamente de manera lenta durante el ejercicio (hasta aproximadamente 30 g/h o 0,5 g/min). Los carbohidratos rápidamente oxidados incluyen la glucosa, la maltosa, la sacarosa, la maltodextrina y el almidón de amilopectina. Los carbohidratos que se oxidan a una tasa más lenta incluyen la fructosa, la galactosa, la isomaltulosa, la trehalosa y la amilosa (Jentjens and Jeukendrup 2005).

El uso de carbohidratos ingeridos durante el ejercicio de fútbol depende de la velocidad a la que se puedan digerir y absorber para ingresar al torrente sanguíneo. Por lo tanto, la digestión y la absorción de los carbohidratos es el principal factor limitante para su uso. Con respecto a la digestión de las diferentes fuentes de carbohidratos discutidas anteriormente, se ha demostrado que la ingesta de una combinación de carbohidratos que usan diferentes transportadores intestinales para la absorción aumenta el suministro y el uso de carbohidratos por parte del músculo. Se observa un aumento en la oxidación de carbohidratos cuando el transporte de glucosa en el intestino está saturado (SGLT1), y se usa un sistema de transporte diferente (GLUT-5) para transportar carbohidratos simultáneamente, a saber, la glucosa y la fructosa (Jentjens, Achten et al. 2004).

Lograr altas tasas exógenas de carbohidratos puede ser más relevante para los deportes de resistencia (>90 minutos de duración), ya que es poco probable que los

transportadores de glucosa se saturan durante el fútbol con las recomendaciones de ingesta actuales (Unidad 2). Sin embargo, la ingesta de múltiples carbohidratos transportables (glucosa, sacarosa/fructosa) puede ser relevante para los jugadores, ya que también se ha demostrado que aumentan el suministro de líquidos y reducen el riesgo de malestar gastrointestinal (Baker and Jeukendrup 2014).

Fibra dietética

La fibra dietética es la parte de las plantas que se puede comer, pero que no se digiere ni se absorbe en el intestino delgado. La fibra dietética es descompuesta total o parcialmente por las bacterias en el intestino grueso. La cantidad suficiente de fibra en la dieta de los jugadores se asocia con una serie de beneficios para la salud, entre los que se incluyen la reducción del riesgo de enfermedad cardíaca, la reducción del riesgo de estreñimiento y el ablandamiento de las heces (lo que las hace más fáciles de expulsar). En general, los jugadores adultos de 16 años o más deben tener como meta ingerir aproximadamente 30 g de fibra diariamente. Sin embargo, los alimentos con alto contenido de fibra no se recomiendan en la comida previa al partido, en la que el suministro de carbohidratos y el aumento de los reservorios glucogénicos del cuerpo son la prioridad. Entre los ejemplos de fuentes dietéticas de fibra para el consumo del jugador se encuentran los siguientes:

- Cereales para el desayuno (alto contenido de fibra): gachas de avena, salvado de avena Camote, cáscara de papa, pan y pasta integrales
- Legumbres, como frijoles al horno y hummus
- Verduras: brócoli, zanahoria, guisantes, verduras mixtas congeladas, judías verdes
- Frutas: Todas; manzana, pera, cerezas, fresas, kiwis, frambuesas, moras, ciruelas, plátanos y naranjas
- Frutos secos: almendras, avellanas y maní

¿SABÍA QUE...?

La fibra en la dieta de los jugadores es resistente a la digestión y la absorción en el intestino.

Resumen

- Los carbohidratos se pueden clasificar por el número de monosacáridos (azúcares simples) que contienen y pueden clasificarse en general como “simples” o “complejos”, según su perfil de digestión y absorción.

- Se recomiendan los carbohidratos con una tasa de digestión y absorción “rápida” durante el ejercicio.
- La digestión de carbohidratos comienza en la boca y se transporta al cuerpo de los jugadores a través del intestino delgado.
- Los carbohidratos se almacenan como glucógeno, lo que constituye una manera eficiente de almacenar grandes cantidades de carbohidratos en el cuerpo.
- La fibra es un carbohidrato que no puede ser absorbido por el cuerpo pero que es importante para la salud general y gastrointestinal de los jugadores.

Unidad 1.2 Carbohidratos y fútbol

El objetivo de esta unidad es desarrollar su comprensión del rol de los carbohidratos en el desempeño del fútbol. Se hará una breve reseña histórica de la literatura para proporcionar antecedentes sobre cómo hemos llegado a las recomendaciones actuales. Es importante destacar que en esta unidad se abordará cómo los carbohidratos influyen en el desempeño del fútbol y los posibles mecanismos que sustentan la eficacia de la alimentación con carbohidratos para el desempeño específico del fútbol.

Perspectiva histórica

Los beneficios de los carbohidratos se remontan a principios del siglo XX. Las primeras observaciones realizadas por la maratón de Boston en 1925 fueron notorias (Gordon, Kohn et al. 1925). En este estudio, se informó que la ingesta de dulces (azúcar/golosinas) por parte de los corredores durante la carrera previno la hipoglucemia. Es importante destacar que la ingesta de dulces también mejoró los tiempos de carrera en comparación con las carreras en las que no se consumieron dulces.

Para deportes intermitentes, se inició un trabajo similar en la Universidad de Florida, Estados Unidos, en la década de 1970. En 1971, el Dr. Cade y sus colegas informaron de los efectos del ejercicio sobre los cambios de la glucosa en sangre en cuatro jugadores del equipo de fútbol americano de la universidad durante una sesión vigorosa de entrenamiento de dos horas, sin ingesta de alimentos ni líquidos (Cade, Free et al. 1971). La concentración de glucosa en sangre de los jugadores de fútbol americano disminuyó progresivamente a lo largo de la práctica. Esta observación fue seguida por un estudio en 1972 para determinar si la ingesta de carbohidratos podría prevenir las perturbaciones en la concentración de glucosa en sangre (Cade, Spooner et al. 1972). Cade y sus colegas concluyeron que el desempeño durante una prueba estandarizada de caminata-carrera (recorrido de 7 millas) mejoró significativamente cuando se ingirió 1 L de una solución de glucosa-electrolitos al 3 % en comparación con la prueba en la que los jugadores bebieron el mismo volumen de agua. La concentración de glucosa en sangre disminuyó durante los ensayos con agua (en 1,3 mmol/L), mientras que aumentó (en 1,0 mmol/L) cuando los jugadores bebieron la solución de glucosa-electrolitos al 3 %.

Al mismo tiempo, la importancia del glucógeno muscular para el desempeño en el fútbol también se estaba investigando en Europa. Al utilizar la técnica de biopsia muscular, Agnevik (1970) informó que los reservorios glucogénicos de los jugadores de fútbol de sexo masculino ya casi no tenían glucógeno muscular después de un

partido de fútbol de 90 minutos (Agnevik 1970). La mayor tasa de agotamiento de glucógeno ocurrió en la primera mitad del partido. En un estudio similar, se realizaron biopsias de muestras musculares del cuádriceps femoral de jugadores recreativos al principio, en el entretiempo y al final de un partido de fútbol (Saltin 1972).

El profesor Bengt Saltin (1973) informó que las concentraciones de glucógeno muscular fueron significativamente más bajas al finalizar el partido (período previo: 96 mmol/kg de peso húmedo (w.w.); entretiempo: 32 mmol/kg w.w.; final: 9 mmol/kg w.w.). Significativamente, aquellos jugadores que comenzaron el partido con un bajo nivel de glucógeno muscular (45 mmol/kg w.w.) casi habían agotado sus reservas al llegar al entretiempo. Este fue el primer estudio que informó de la implicación en el desempeño asociada con las concentraciones de glucógeno muscular. Específicamente, los jugadores que comenzaron el partido con glucógeno muscular alto cubrieron una mayor distancia e invirtieron más del tiempo total en completar carreras de alta intensidad en comparación con aquellos jugadores que comenzaron el juego con glucógeno muscular bajo (24 % frente al 15 % del tiempo del partido en jugadores con glucógeno muscular alto frente a jugadores con glucógeno muscular bajo, respectivamente). Estos hallazgos coincidieron con estudios que analizan el perfil de actividad de los jugadores de fútbol profesional en el Reino Unido. En estos estudios, el profesor Thomas Reilly informó que los jugadores cubrieron menos distancia en la segunda mitad en comparación con la primera mitad de un partido. Desde la realización de estos influyentes estudios sobre carbohidratos, ha habido investigaciones continuas que exploran la ingesta de carbohidratos y el desempeño de deportes intermitentes (Baker, Rollo et al. 2015). La contribución del profesor Clyde Williams, oficial de la Orden del Imperio Británico (OBE), y su equipo de investigación de la Universidad de Loughborough en el Reino Unido ha sido clave para nuestra comprensión de la ingesta de carbohidratos para el desempeño deportivo.

¿SABÍA QUE...?

La hipoglucemia se refiere a niveles bajos de concentraciones de glucosa en sangre. Concentraciones de glucosa en sangre de < 3 mmol/L.

Preparación para el partido

El carbohidrato es un macronutriente clave para los jugadores durante los preparativos para los partidos. El día anterior al partido (día del partido -1), se aconseja a los jugadores ingerir entre 6 y 8 g de carbohidratos/kg de masa corporal (MC) para incrementar las reservas musculares de glucógeno. Debido a los procedimientos invasivos requeridos, hasta la fecha no ha sido posible establecer el

uso de glucógeno de jugadores hombres o mujeres durante un partido de élite. Sin embargo, los datos de estudios de investigación en los que se simuló la actividad futbolística o se jugaron partidos “amistosos” demuestran que aproximadamente el 50 % de las fibras musculares se clasifican como vacías o parcialmente vacías después del partido (Krustrup, Mohr et al. 2006). Cuando hay varios partidos en una semana, por ejemplo, encuentros domésticos, competición europea, partidos internacionales, etc., la ingesta de carbohidratos debe mantenerse o aumentarse hasta 10 g/kg de masa corporal durante las 48 a 72 horas antes de los partidos. Se ha demostrado que esta ingesta elevada de carbohidratos promueve el almacenamiento adecuado de glucógeno y mantiene la capacidad de carrera entre los partidos (Nicholas, Green et al. 1997). Los estudios en jugadores profesionales sugieren que el consumo de carbohidratos es inferior a las recomendaciones y, de hecho, está más cerca de una ingesta de aproximadamente 4 g/kg de masa corporal (Anderson, Orme et al. 2017). Con este fin, los profesionales deben centrarse en la disponibilidad de alimentos ricos en carbohidratos (Unidad 1), cuando la ingesta de carbohidratos debe elevarse. La ingesta de carbohidratos se debe priorizar a expensas de la ingesta de grasa (y posiblemente la ingesta de proteínas) para garantizar una restauración adecuada del glucógeno.

Carbohidratos antes del partido

El día del partido, la ingesta de carbohidratos antes, durante y después del ejercicio es una de las consideraciones más importantes. Dentro de la directriz de consumo de carbohidratos (de 6 a 8 g/kg de masa corporal) (Tabla 1), se recomienda que los jugadores consuman una comida rica en carbohidratos (de 2 a 3 g/kg de masa corporal) de 3 a 4 horas antes del inicio para comenzar el partido con los reservorios glucogénicos adecuados (Williams 1993).

La comida antes del partido es importante para “recargar” los reservorios glucogénicos hepáticos, que pueden reducirse en aproximadamente un 50 % después de un ayuno nocturno. Esto es particularmente importante para los jugadores cuando la hora de inicio está programada para la hora del almuerzo o un inicio temprano. En estas circunstancias, la ingesta de carbohidratos el día anterior al partido también adquiere mayor importancia.

Los beneficios de las comidas antes del partido también pueden extenderse a las habilidades técnicas de los jugadores. Briggs y sus colegas demostraron que la velocidad de regate de los jugadores de fútbol de la Academia mejoró cuando se ingirió un desayuno más grande (500 kcal frente a 250 kcal, con un 60 % de carbohidratos) 135 minutos antes de un partido (Briggs, Harper et al. 2017). De hecho, datos de muchos estudios sugieren que la una mayor ingesta de carbohidratos antes

y durante un partido puede retrasar la fatiga (Holway and Spriet 2011) y mejorar la capacidad de realizar ejercicio intermitente de alta intensidad (Russell and Kingsley 2014).

¿SABÍA QUE...?

El profesor Bengt Saltin fue un fisiólogo humano líder en el mundo. Como médico, dedicó su vida a investigar los efectos del ejercicio físico sobre la salud y el desempeño. Sus estudios continúan inspirando a los científicos a estudiar la nutrición deportiva y la naturaleza de la fisiología humana (3 de junio de 1935 - 12 de septiembre de 2014) (http://www.exercisephysiology.net/Bengt_Saltin.asp).

Carbohidratos durante el partido

Las investigaciones disponibles muestran los beneficios en el desempeño en protocolos que simulan partidos de fútbol cuando se consumen carbohidratos durante el ejercicio en cantidades de ~30 a 60 g/h (Baker, Rollo et al. 2015). En general, se recomienda que se dividan de 30 a 60 g de carbohidratos entre el período posterior al calentamiento y el entretiempo para cumplir con estas directrices (Funnell, Dykes et al. 2017, Harper, Stevenson et al. 2017).

Se ha informado que las prácticas actuales de los jugadores de élite se encuentran en el extremo inferior de las ingestas recomendadas de carbohidratos. Por ejemplo, un estudio indicó que jugadores de la Premier League inglesa informaron ingestas de carbohidratos de 32 g por hora durante un partido (Anderson, Orme et al. 2017). Esto se puede atribuir a los descansos programados en el partido, lo que brinda oportunidades de ingesta en el calentamiento y el entretiempo. La baja ingesta de carbohidratos también puede deberse al miedo de los jugadores o la experiencia real de problemas gastrointestinales durante los partidos. Esto puede aliviarse practicando la ingesta de carbohidratos en los días de entrenamiento. Las paradas durante el partido pueden proporcionar oportunidades valiosas para que los jugadores ingieran carbohidratos y líquidos. En estas situaciones, se recomienda la ingesta de bebidas deportivas bien formuladas para optimizar el suministro de líquidos y carbohidratos al jugador.

A pesar de la prevalencia del tiempo adicional durante los principales torneos internacionales de fútbol, ha habido pocas investigaciones en esta área de nutrición. Es de esperarse que la ingesta de carbohidratos pueda requerir atención especial en partidos en los que se juega tiempo adicional (2 tiempos de 15 minutos). Los estudios que han demostrado una mejor capacidad de resistencia (tiempo de carrera hasta la fatiga) con la ingesta de carbohidratos después de 90 minutos de un partido simulado son relevantes para el tiempo adicional. Sin embargo, solo ha habido un estudio que ha investigado directamente el impacto de los carbohidratos en el

desempeño en el tiempo adicional (Harper, Briggs et al. 2016). En este estudio, la ingesta de un gel con carbohidratos y electrolitos elevó las concentraciones de glucosa en sangre y mejoró el desempeño de regate durante el tiempo adicional del partido de fútbol simulado.

¿CUÁN IMPORTANTE ES EL TIEMPO ADICIONAL?

Prevalencia del tiempo adicional y los penales en tres grandes competiciones desde 2010:

Campeonatos europeos

Eurocopa 2012: 2 partidos fueron a tiempo adicional (2/2 a penales)

Eurocopa 2016: 5 partidos fueron a tiempo adicional (incluida la final)

Copa Mundial

Copa Mundial Brasil 2014: 8 partidos fueron a tiempo adicional (incluida la final)

Copa Mundial Rusia 2018: 5 partidos fueron a tiempo adicional (4/5 a penales)

Liga de Campeones

Final de la Liga de Campeones 2016: tiempo adicional y penales

Final de la Liga de Campeones 2014: tiempo adicional

Final de la Liga de Campeones 2012: tiempo adicional y penales

Carbohidratos y habilidad futbolística

La ingesta de carbohidratos durante el ejercicio intermitente se asocia con un mejor desempeño de tiro (Currell, Conway et al. 2009, Russell and Kingsley 2014), velocidad de regate (Harper, Stevenson et al. 2017) y pases, (Ali and Williams 2009) aunque los efectos en los sprints, los saltos, el cambio de dirección y la cognición son menos constantes (Baker, Rollo et al. 2015). Es probable que las inconsistencias en los resultados de las investigaciones sean el resultado de tamaños de muestra pequeños, la variabilidad en los protocolos de ingesta de carbohidratos (por ejemplo, cantidades consumidas) y una precisión de medición deficiente. Es importante tener en cuenta que la "habilidad" de por sí es extremadamente difícil de evaluar. Esto se debe a la típica variación diaria en la capacidad de los jugadores para aplicar una habilidad. Además, la ejecución (precisión/velocidad) de la habilidad debe ser cuantificada. Las condiciones específicas del partido, como el público, la presión del jugador rival, la velocidad para jugar, etc., son casi imposibles de reproducir en condiciones de laboratorio.

Recuperación del partido



Después de un partido competitivo, la agresividad de la estrategia de recuperación de nutrición dependerá cuándo deba entrenar o jugar el jugador. Sin embargo, el principio general es acelerar el tiempo requerido para que el jugador se recupere completamente (Nedelec, McCall et al. 2012). Esto es particularmente importante durante los períodos de congestión de partidos (de 2 a 3 partidos por semana) y antes de la temporada. Para acelerar la recuperación, los jugadores deben reponer rápidamente sus reservas de carbohidratos. Las comidas posteriores al partido deben apuntar a una ingesta de carbohidratos de aproximadamente 1 g/kg/h en las primeras 2 horas después del ejercicio y continuar durante 4 horas (Burke, Collier et al. 1996). Esta recomendación se basa en la observación de que la tasa de restauración de glucógeno muscular puede aumentar cuando se ingieren carbohidratos inmediatamente después del ejercicio, en comparación con los casos en los que la alimentación con carbohidratos se retrasa dos horas después del ejercicio (Ivy 1998). La ingesta de carbohidratos puede satisfacerse al proporcionar bebidas y bocadillos con carbohidratos en los vestuarios, seguidos de comidas posteriores al partido. La comida posterior al partido se puede proporcionar durante el viaje o al regresar a casa.

Tras una evaluación 24 horas después del ejercicio, el momento de la alimentación con carbohidratos tiene poco impacto en las concentraciones de glucógeno, siempre que se hayan ingerido suficientes carbohidratos (Parkin, Carey et al. 1997). Sin embargo, la actividad futbolística implica un importante componente excéntrico. Las contracciones musculares excéntricas están asociadas con el daño muscular, que puede interrumpir la captación de glucosa en el músculo. En consecuencia, la resíntesis de glucógeno muscular puede verse afectada después de los partidos de fútbol o el entrenamiento con un componente excéntrico grande (Asp, Daugaard et al. 1995). Con este fin, es importante combinar los carbohidratos con otras estrategias de recuperación nutricional para acelerar la remodelación muscular y la resíntesis de glucógeno (Módulo 2).

¿SABÍA QUE...?

El sistema nervioso autónomo regula las acciones que ocurren en el cuerpo del jugador sin su control voluntario, por ejemplo, la frecuencia cardíaca o la presión arterial. Está compuesto por los sistemas nerviosos simpático y parasimpático.

El sistema nervioso simpático prepara el cuerpo del jugador para el estrés (competición de fútbol), también conocido como respuesta de lucha o huida, por ejemplo, al aumentar la frecuencia cardíaca e incrementar el flujo de sangre a los músculos.

El sistema nervioso parasimpático funciona en oposición y ayuda a mantener las funciones corporales normales del jugador cuando se lo estimula; por ejemplo, reduce la frecuencia cardíaca y aumenta las funciones digestivas.

Entrenamiento

Los requisitos de carbohidratos para el entrenamiento se discutieron en cursos recientes. Consulte la Tabla 1 para obtener un resumen de las diferentes ocasiones de entrenamiento y las correspondientes ingestas recomendadas de carbohidratos (Modificado del documento de consenso de la UEFA, 2019).

Tabla 1: Requerimientos de carbohidratos para el entrenamiento

Ocasión de entrenamiento	Objetivos de entrenamiento	Adaptaciones de entrenamiento deseadas	Parámetros típicos de carga externa de entrenamiento diario (cuantificados durante el entrenamiento basado en la cancha: GPS; HSR, denota carrera de alta velocidad => 19,8 km.h1)	Rango de CHO diario sugerido	Comentarios
Entrenamiento de pretemporada	Salud del jugador (evitar enfermedades/lesiones) Mejorar las cualidades físicas/mentales/tácticas del jugador Preparar a los jugadores para una temporada completa de juego	Aumentar la aptitud aeróbica y anaeróbica Aumentar/maximizar la fuerza, la velocidad, la potencia para el desempeño y la prevención de lesiones Aumentar la masa magra/reducir la masa grasa	Duración (min.): De 60 a 180 Distancia total (km): De 3 a 12 HSR (m): <400	De 4 a 8 g.kg-1 de masa corporal	El rango de ingesta de carbohidratos se adapta a las posibles variaciones en el entrenamiento en cargas, así como a los objetivos de entrenamiento individuales (por ejemplo, la manipulación de la composición corporal para adaptarse a la pérdida de peso y la pérdida de grasa o el aumento de peso y el aumento de masa magra).
Entrenamiento en la temporada (1 partido por semana)	Mantener/mejorar las cualidades físicas del jugador Salud del jugador (evitar lesiones/enfermedades)	Para mantener la aptitud aeróbica y anaeróbica, la fuerza y la masa magra	Duración (min.): De 45 a 90 Distancia total (km): De 2 a 7 HSR (m): <400	De 3 a 8 g.kg-1 de masa corporal	El rango de ingesta de carbohidratos se adapta a las posibles variaciones en las cargas a lo largo del microciclo (por ejemplo, días de baja carga y protocolos de carga de CHO 1 día antes del partido), así como a los objetivos de entrenamiento individuales.
Entrenamiento en la temporada (períodos de congestión de partidos)	Para evitar lesiones y enfermedades Para acelerar la recuperación	Restaurar la función muscular lo más rápido posible Promover la resíntesis de glucógeno Reposición de líquidos: rehidratación Aliviar la fatiga mental	Duración (min.): <60 Distancia total (km): <3 HSR (m): <50	De 6 a 8 g.kg-1 de masa corporal	El rango de ingesta de carbohidratos es para satisfacer el requisito de reposición de las reservas musculares de glucógeno en el período de 48 a 72 horas entre partidos.

Fuente: modificado del documento de consenso de la UEFA, 2019.

Mecanismos

Efectos metabólicos de los carbohidratos

Fundamentalmente, el deterioro del desempeño de la carrera y las habilidades durante el fútbol es una consecuencia de la fatiga. Debido a las exigencias

fisiológicas del fútbol, la fatiga se manifiesta en diferentes momentos durante el entrenamiento y los partidos, y puede ser una consecuencia de mecanismos netamente diferentes. Por ejemplo, los jugadores experimentan fatiga temporal después de los períodos más intensos a lo largo de un partido, y fatiga más permanente en las fases finales de un partido (Baker, Rollo et al. 2015).

Los mecanismos precisos que respaldan la fatiga transitoria están fuera del alcance de este módulo, pero es poco probable que se vean afectados por la provisión de carbohidratos, siempre que las concentraciones de glucógeno se mantengan por encima de cierto nivel crítico (aproximadamente 200 mmol/kg de peso seco (d.w.) en el músculo activo) (Baker, Rollo et al. 2015).

Está bien establecido que los carbohidratos y la grasa son las dos fuentes primarias de combustible oxidadas por el tejido del músculo esquelético durante el ejercicio prolongado (de tipo de resistencia). La contribución relativa de estas fuentes de combustible depende en gran medida de la intensidad y la duración del ejercicio, con una mayor contribución absoluta y relativa de los carbohidratos a medida que la intensidad del ejercicio aumenta por encima del 60 % del VO_2 máximo (Cermak and van Loon 2013). El glucógeno muscular proporciona un sustrato rápidamente disponible para la producción de energía al completar esfuerzos de alta intensidad durante la actividad intermitente (Baker, Rollo et al. 2015).

Por ejemplo, en un solo sprint de 6 segundos, el glucógeno muscular contribuye en aproximadamente un 50 % de la renovación de adenosintrifosfato (ATP) dentro del músculo (Gaitanos, Williams et al. 1993). Por lo tanto, la consecuencia de la actividad de sprint repetida es una reducción neta en las concentraciones de glucógeno muscular (Bendiksen, Bischoff et al. 2012). Aunque el glucógeno se agota en los tipos de fibras musculares de tipo I y II, puede ser el agotamiento específico del glucógeno en las fibras musculares de tipo II lo que genera una pérdida significativa en la producción de potencia durante sprints repetitivos. Puede ser que la disminución en el glucógeno muscular por debajo de un nivel crítico en respuesta a la carrera de intensidad variable contribuya a la fatiga más permanente experimentada hacia el final de un partido (Mohr, Krstrup et al. 2005). Además, es probable que el impacto del bajo glucógeno muscular tenga una mayor consecuencia en el fútbol, en el que la reserva endógena de glucógeno es insuficiente para satisfacer las demandas de energía durante el transcurso del ejercicio (por ejemplo, el tiempo adicional) (Baker, Rollo et al. 2015).

En un estudio que emplea la prueba de carrera de ir y volver intermitente de Loughborough (LIST), el protocolo que imita las demandas del fútbol, el análisis de la biopsia muscular reveló una reducción significativa en la concentración de glucógeno muscular en las fibras musculares de tipo I y II desde antes hasta después

del ejercicio (Nicholas, Tsintzas et al. 1999). Sin embargo, el uso de glucógeno muscular se redujo en un 22 % cuando los jugadores ingirieron una solución de carbohidratos al 6,9 % durante el ejercicio en comparación con el placebo. La preservación del glucógeno muscular es un mecanismo viable para explicar por qué los jugadores que consumen carbohidratos pueden mantener una carrera de alta intensidad en la segunda mitad de los partidos de fútbol en vivo. Por ejemplo, el desempeño de diez jugadores de fútbol fue grabado en video en dos ocasiones distintas: cuando los jugadores bebieron 400 mL de una solución concentrada de carbohidratos (16 % de maltodextrina) o un placebo antes y durante el entretiempo del partido. Los jugadores que bebieron la solución de carbohidratos corrieron una distancia aproximadamente 40 % mayor durante la segunda mitad del partido en comparación con los jugadores que consumieron la bebida placebo (Kirkendall, Foster et al. 1988) (Baker, Rollo et al. 2015).

Una consideración importante al interpretar los datos de desempeño durante cualquier deporte de equipo es la alta variabilidad observada entre los partidos, ya que se ha informado que la formación táctica y el nivel de competición influyen en la distancia que un jugador cubre a alta velocidad. Por lo tanto, aunque es una medida interesante, evaluar el impacto que tiene la ingesta de carbohidratos en el desempeño de deportes de equipo en los partidos en vivo es un desafío, debido a la compleja interacción entre los componentes físicos y técnicos (Rollo 2019).

Un estudio que utilizó la prueba de fútbol de Copenhague (CST) obtuvo mediciones frecuentes y rápidas de los metabolitos musculares y sanguíneos, lo que permitió observar la renovación de energía anaeróbica y las tasas de uso de glucógeno muscular en varias fases de un partido de fútbol simulado de 90 minutos (Bendiksen, Bischoff et al. 2012). Tanto las fibras musculares de tipo I como de tipo II mostraron un agotamiento significativo del glucógeno, con aproximadamente un 80 % de las fibras sin o casi sin (<200 mmol/kg de d.w.) glucógeno después de 90 minutos de actividad intermitente. Se ha demostrado que las concentraciones de glucógeno muscular <~ 200 mmol/kg de d.w. disminuyen significativamente la tasa glucolítica. Además, el agotamiento del glucógeno muscular en los compartimentos de glucógeno subcelular (es decir, el retículo sarcoplásmico) genera reducciones concomitantes en el manejo del calcio muscular. Se ha informado que una tasa reducida de liberación de calcio de las vesículas del retículo sarcoplásmico reduce la producción de potencia máxima (Gejl, Hvid et al. 2014). Por lo tanto, el bajo nivel de glucógeno muscular influye en el flujo de calcio y perjudica la propiedad contráctil del músculo (Baker, Rollo et al. 2015).

¿SABÍA QUE...?



El retículo sarcoplásmico es una estructura que se encuentra dentro de las células musculares que almacena y libera el calcio en el músculo necesario para las contracciones musculares.

Se ha encontrado que la tasa de utilización de glucógeno muscular disminuye desde la primera hasta la segunda mitad de un partido de fútbol simulado. Específicamente, en un estudio que utilizó la prueba de fútbol de Copenhague, se informó que la tasa de uso de glucógeno muscular fue mayor durante el calentamiento y los primeros 15 minutos de un partido simulado (Baker, Rollo et al. 2015). En comparación, el uso de glucógeno muscular fue significativamente más bajo de los 15 a los 60 minutos y aún más bajo de los 60 a los 90 minutos.

En un estudio que utilizó el protocolo LIST, los participantes ingirieron ya sea una solución de carbohidratos y electrolitos al 6,4 % (aproximadamente 90 g/h) o un placebo inmediatamente antes y en intervalos de 15 minutos durante el ejercicio. Se informó de una tasa similar de uso de glucógeno muscular desde antes del ejercicio hasta los 90 minutos en los ensayos con carbohidratos y placebo (Foskett, Williams et al. 2008). En este estudio, los participantes continuaron completando bloques del LIST después de 90 minutos hasta la fatiga volitiva. Todos los participantes corrieron más tiempo durante el ensayo con carbohidratos ($158,0 \pm 28,4$ minutos) en comparación con el ensayo con placebo ($131,0 \pm 19,7$ minutos), lo que representa un aumento del 21% en la capacidad de carrera intermitente. La fatiga ocurrió a concentraciones de glucógeno muscular similares en ambos ensayos (aproximadamente 200 mmol/kg de d.w.). Las concentraciones de glucosa en plasma e insulina sérica fueron más altas en el ensayo con carbohidratos que en el ensayo con placebo en el punto de fatiga, lo que sugiere que una mayor disponibilidad de glucosa cumple un rol en el desempeño superior (Baker, Rollo et al. 2015).

El rol de la glucosa en sangre

La respuesta metabólica a la ingesta de carbohidratos difiere dependiendo de si el jugador está en reposo o haciendo ejercicio. En reposo, la respuesta al aumento de la glucosa en sangre es una sobrerregulación en la síntesis y la secreción de insulina en el páncreas (células beta de los islotes de Langerhans). La insulina causa una disminución de la lipólisis y una mayor captación de glucosa en el hígado, el músculo esquelético y las células de grasa (Baker, Rollo et al. 2015).

El rol del glucógeno hepático es la regulación de la concentración de glucosa en sangre (euglucemia: de 4,0 a 5,5 mmol/L). Al inicio del ejercicio, la contracción muscular provoca una mayor captación de glucosa de la sangre. En oposición al

efecto de la insulina, la glucogenólisis hepática se activa por las acciones del glucagón y la epinefrina. Russell, Benton y Kingsley (2014) informaron que la respuesta de la insulina a la ingesta de carbohidratos durante el período de calentamiento previo a la actividad de deporte de equipo se ve inhibida por las acciones de la epinefrina, lo cual explica la concentración elevada de glucosa en sangre que se observa típicamente durante esta etapa del ejercicio. Durante mucho tiempo se ha establecido que, a medida que aumenta la duración del ejercicio, la glucosa en sangre tiene una contribución creciente en la oxidación de carbohidratos en el músculo (Coyle, Coggan et al. 1986, Russell, Benton et al. 2014). La concentración de glucosa en sangre puede aumentar en respuesta a la actividad deportiva intermitente debido a un aumento en las catecolaminas circulantes (Bangsbo 1994)). Aunque se informa que el glucagón se mantiene relativamente sin cambios durante un partido, las concentraciones de epinefrina y norepinefrina aumentan a través de la estimulación del sistema nervioso simpático. La epinefrina estimula la glucogenólisis en el hígado, lo que genera un aumento de la concentración de glucosa en sangre por encima de los valores en reposo (Bangsbo 1994). Si bien se ha informado de disminuciones transitorias de la concentración de glucosa en sangre después del entretiempo de un partido (Russell, Benton et al. 2014), la hipoglucemia es relativamente inusual en los jugadores durante el ejercicio específico del fútbol de 90 minutos en individuos alimentados (Ekblom 1986), lo que sugiere que el glucógeno hepático es suficiente para mantener o incluso aumentar la concentración de glucosa en sangre durante un partido (Krustrup, Mohr et al. 2006) (Baker, Rollo et al. 2015).

Sin embargo, se recomienda a los jugadores de deportes de equipo ingerir carbohidratos durante el ejercicio para obtener los beneficios de preservar el glucógeno endógeno y la capacidad de mantener el desempeño de carrera de alta intensidad hacia el final del ejercicio (Williams and Rollo 2015). Un efecto de ingerir bebidas con carbohidratos y electrolitos durante el ejercicio intermitente es un aumento en las concentraciones de glucosa en sangre durante el ejercicio, en comparación con la ingesta de bebidas no calóricas. Aunque los mecanismos siguen sin estar claros, los autores han sugerido que la toma de decisiones y la ejecución exitosa de las habilidades durante un partido pueden verse influidas por las concentraciones de glucosa en sangre. La glucosa en sangre elevada se ha asociado con una mejora general en el desempeño de las habilidades en el fútbol (Russell and Kingsley 2014, Baker, Rollo et al. 2015).

Además, Bandelow y sus colegas demostraron que la alta concentración de glucosa en plasma de la ingesta de bebidas deportivas durante un partido de fútbol se relacionó con velocidades de respuesta más rápidas durante varias pruebas de habilidades cognitivas/motrices, incluida la habilidad motriz fina, la discriminación visual compleja y la memoria de trabajo, después de un partido de 90 minutos

(Bandelow, Maughan et al. 2010). Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en este estudio, la velocidad de respuesta más rápida en la memoria de trabajo se obtuvo a expensas de una precisión reducida, por lo que esto puede haber sido simplemente el producto de una “compensación” de velocidad/precisión. La concentración de glucosa en sangre puede influir en el desempeño de las habilidades, ya que el cerebro depende casi completamente de un suministro continuo de glucosa proveniente de la circulación para un funcionamiento óptimo (Duelli and Kuschinsky 2001). Se ha informado que las elevaciones en la glucosa en sangre aumentan el suministro de glucosa al cerebro y preservan la integridad del sistema nervioso central. Además, las concentraciones elevadas de glucosa en sangre también se han asociado con el ahorro de glucógeno muscular (Tsintzas, Williams et al. 1995), una función neuromuscular mejorada (Nybo, Pedersen et al. 2009) y una fatiga central reducida (Nybo 2003) (Baker, Rollo et al. 2015).

Tanto una solución de carbohidratos al 9,6 % (más un gel con carbohidratos, 142 g de carbohidratos/h) como una solución de carbohidratos al 5,6 % (más un gel placebo, 54 g de carbohidratos/h) antes y durante el entretiempo aumentaron las concentraciones de glucosa en sangre en comparación con la ingesta de un placebo durante un protocolo que simula un partido (Kingsley, Penas-Ruiz et al. 2014). La velocidad media del sprint fue consistentemente más rápida en ambas pruebas con carbohidratos (solución al 9,6%: 5,73 m/s; solución al 5,6%: 5,66 m/s) en comparación con el placebo (5,58 m/s) desde el principio hasta el final de los 90 minutos. Es importante tener en cuenta que no es posible distinguir si el desempeño mejorado se debió a un efecto dependiente de la dosis de ingesta de carbohidratos en la concentración de glucosa en sangre, ya que los participantes también ingirieron cafeína (6 mg/kg de masa corporal) con la solución de carbohidratos al 9,6 %. Un estudio realizado por el mismo grupo de investigación estudió el impacto de los carbohidratos (0,7 g/kg de masa corporal) o la ingesta de placebo en el desempeño físico y de habilidades en el tiempo adicional de un protocolo de fútbol simulado. En este estudio, los carbohidratos se proporcionaron en forma de geles de glucosa y maltodextrina antes del ejercicio, en el entretiempo y a los 90 minutos. La prueba de carbohidratos aumentó las concentraciones de glucosa en sangre y se asoció con una mejor precisión de regate en el tiempo adicional (de 90 a 120 minutos). Sin embargo, el nivel elevado de glucosa en sangre no pudo atenuar la reducción en el desempeño en sprints y saltos observada en esta ocasión (Baker, Rollo et al. 2015, Harper, Briggs et al. 2016).

Cuando las reservas de carbohidratos se reducen severamente durante las últimas etapas del ejercicio prolongado, la amenaza para el metabolismo cerebral puede prevenirse con la interrupción del ejercicio (Foskett, Williams et al. 2008). Es probable que, durante el ejercicio exhaustivo, de alta intensidad e intermitente, la disminución del desempeño y, en última instancia, la fatiga volitiva sean una

consecuencia multifacética de los mecanismos tanto periféricos como centrales. Nybo y sus colegas demostraron que, cuando los ciclistas entrenados para la resistencia desarrollaron hipoglucemia, el desempeño neuromuscular (contracción voluntaria máxima sostenida) se vio afectado. Se informó que la menor producción de fuerza es una consecuencia de la fatiga central (a saber, un impulso de activación disminuido del sistema nervioso central) (Nybo 2003). Cuando se suministró glucosa a los ciclistas para preservar las concentraciones de glucosa en sangre durante el ejercicio, se mantuvo el desempeño neuromuscular. Se ha especulado que el mecanismo subyacente a la fatiga central inducida por la hipoglucemia se relaciona directamente con un suministro reducido de glucosa como sustrato al cerebro.

Con respecto a los deportes intermitentes, se activarán grandes regiones del cerebro, como la corteza motora, así como regiones involucradas en la regulación cardiorrespiratoria. El transporte de glucosa endotelial puede llegar a ser limitante para la tasa metabólica cerebral de la glucosa cuando las concentraciones de glucosa arterial caen a niveles de hipoglucemia (Nybo 2003). Curiosamente, se han informado cambios transitorios en las concentraciones de glucosa en sangre durante el ejercicio intermitente de alta intensidad. Específicamente, las concentraciones elevadas de glucosa en sangre observadas durante la primera mitad del ejercicio específico para el fútbol se anulan en las primeras etapas de la segunda mitad al replicar la ingesta de carbohidratos y las prácticas pasivas de entretiempo típicas del fútbol. Esta observación es relevante porque se ha informado que el desempeño físico se reduce en las primeras etapas de la segunda mitad en comparación con las primeras etapas de un partido (Mohr, Krstrup et al. 2005). Russell y sus colegas informaron que los valores de glucosa en sangre registrados al inicio del período de entretiempo disminuyeron en un 30 % al comienzo del período de la segunda mitad (Russell, Benton et al. 2014). En este y otros estudios que han observado una caída transitoria de la glucosa en sangre durante el período de entretiempo en respuesta a la alimentación con carbohidratos, las concentraciones de glucosa en sangre son generalmente similares a las observadas en los ensayos con placebo. Es importante destacar que, en consonancia con los informes de ejercicio de resistencia, la caída transitoria de la glucosa en sangre después del entretiempo no se ha asociado con disminuciones en el desempeño en el fútbol (Jeukendrup and Killer 2010, Baker, Rollo et al. 2015). En general, el aumento de la glucosa en sangre se asocia con un desempeño superior de las habilidades, mientras que el mantenimiento de las concentraciones de glucosa en sangre mejoraría el desempeño de las habilidades y la carrera en circunstancias de fatiga o hipoglucemia.

Efectos no metabólicos de los carbohidratos

Además de proporcionar sustrato al músculo, los carbohidratos ingeridos durante el ejercicio pueden ejercer un efecto central “no metabólico”. Estudios sobre la carrera y el ciclismo han informado que enjuagarse la boca con una solución con carbohidratos y expectorarla de manera rutinaria ofrece beneficios en el desempeño de resistencia de alta intensidad de 30 a 70 minutos (Rollo, Williams et al. 2011). Por lo tanto, el efecto ergogénico de la ingesta de carbohidratos cuando el ejercicio es de alta intensidad (>75 % de VO_2 máximo) y la duración relativamente corta puede mediarse a través de la activación de vías cerebrales asociadas con la recompensa y la motivación, en respuesta al reconocimiento de carbohidratos en la boca (Rollo and Williams 2011).

Hasta la fecha, los beneficios de enjuagarse la boca con carbohidratos en el desempeño del sprint repetido (fútbol) aún no están claros. Dorling y Earnest (2013) no encontraron ningún efecto del enjuague bucal con una solución de maltodextrina al 6,4 % en el tiempo promedio o más rápido en completar 3 pruebas de capacidad de sprint repetido durante el protocolo LIST (Dorling and Earnest 2013). Sin embargo, esta medida del desempeño durante el protocolo LIST, en el que los sujetos no pudieron regular su propio ritmo, puede no haber sido lo suficientemente sensible como para detectar una posible influencia del enjuague bucal con carbohidratos. En contraste, Rollo y sus colegas (Rollo, Homewood, Williams, Carter y Goosey-Tolfrey, 2015) utilizaron un protocolo LIST de marcha de autoselección validado (Ali, Foskett et al. 2014). En este estudio, el enjuague bucal con una solución de maltodextrina al 10 % se asoció con una mayor velocidad de trote autoseleccionada y también con una probabilidad del 86 % de beneficiar el desempeño en sprints de 15 metros durante las etapas finales (de 75 a 90 minutos) del ejercicio, en comparación con el enjuague bucal con un placebo (Baker, Rollo et al. 2015).

Si el enjuague bucal con carbohidratos es suficiente para mejorar el desempeño de las habilidades es una pregunta interesante. Aunque actualmente no se cuenta con investigaciones específicas suficientes que examinen el efecto del enjuague bucal con carbohidratos en el desempeño de las habilidades, la relevancia de los resultados sería cuestionable debido a los beneficios mencionados anteriormente de la ingesta de carbohidratos en el glucógeno endógeno y la glucosa en sangre. Sin embargo, prácticamente, el uso de enjuague bucal con carbohidratos durante el partido podría ser ventajoso para aquellos jugadores que buscan mejorar el desempeño, pero cuyo consumo de carbohidratos se ve limitado por problemas gastrointestinales (Rollo, Homewood et al. 2015). Finalmente, no hay pruebas de un efecto en el desempeño de dosis-respuesta como para aumentar la concentración de la bebida con carbohidratos que se usa en el enjuague bucal (James, Ritchie et al. 2017).

En resumen, los mecanismos de la ingesta de carbohidratos antes y durante el fútbol son complejos. La importancia de la disponibilidad de carbohidratos para el fútbol se hace evidente mediante los estudios que han informado una reducción severa en las reservas endógenas de carbohidratos durante el ejercicio. La fatiga asociada observada con un bajo nivel de glucógeno muscular se traduce directamente en un desempeño reducido, que puede manifestarse en una carrera de menor intensidad y una habilidad reducida. La ingesta de carbohidratos antes del ejercicio atenúa la liberación hepática de glucosa y, por lo tanto, conserva los reservorios glucogénicos endógenos limitados. La magnitud del impacto que la ingesta de carbohidratos tiene en el desempeño en el fútbol probablemente dependerá del estado de carbohidratos del jugador; es decir, la ingesta de carbohidratos tiene el mayor impacto en el desempeño en circunstancias que provocan fatiga o hipoglucemia permanentes. Al ingerir bebidas con carbohidratos y electrolitos durante el ejercicio, los jugadores pueden obtener un beneficio “adicional” simplemente al enjuagar la solución en la boca antes de ingerirla (Rollo, Williams et al. 2011).

Consideraciones prácticas

Es importante tener en cuenta que, en general, no es difícil alentar a los jugadores a ingerir suficientes carbohidratos en torno a los partidos. Esto se debe a que los carbohidratos son “dulces” y, por lo tanto, una opción “favorita”. El reto es proporcionar carbohidratos a los jugadores que lo necesitan. Por ejemplo, en un día de partido, cuando las opciones de carbohidratos están fácilmente disponibles o se ofrecen al estilo “bufet”, todo el plantel tiene acceso. Por lo tanto, a pesar de que no necesitan carbohidratos adicionales, se sabe que los suplentes (y el staff) “arrasan” con las opciones de carbohidratos proporcionadas. Esto puede generar un balance energético desfavorable para esos jugadores, que, si no se atiende, puede tener un impacto negativo en la composición corporal. Se pueden usar varias opciones para resolver esto, por ejemplo, eliminar el bufet y proporcionar opciones individuales para el jugador, y proporcionar alimentos/bebidas alternativas para los suplentes, en sintonía con un programa educativo. Finalmente, al igual que con todos los alimentos y las ingestas alimentarias diarias, el consumo excesivo de azúcares puede tener un impacto negativo en la salud dental de los jugadores (Venables, Shaw et al. 2005). Por lo tanto, simplemente se recomienda que los jugadores se cepillen los dientes después del entrenamiento y los partidos cuando hayan ingerido carbohidratos.

Resumen

- Una comida rica en carbohidratos (de 2 a 3 g/kg de masa corporal) debe ingerirse de 3 a 4 horas antes del inicio para que los jugadores comiencen el partido con reservorios glucogénicos adecuados.
- La ingesta de carbohidratos (de 30 a 60 g/hora) se asocia con un mejor desempeño en la carrera y las habilidades, especialmente en circunstancias de fatiga o hipoglucemia.
- La glucosa en sangre elevada durante el ejercicio de fútbol se asocia con un desempeño superior en las habilidades futbolísticas.
- Después de un partido, la ingesta de carbohidratos (~1 g/kg/h) acelerará la tasa de resíntesis de glucógeno muscular.
- La ingesta de carbohidratos posterior al ejercicio debe lograrse junto con otros objetivos de nutrición para acelerar la recuperación de los jugadores (líquidos y proteínas).
- Exención de responsabilidad: Ian Rollo trabaja en el Gatorade Sports Science Institute, una división de PepsiCo, Inc. Las perspectivas que se expresan en este curso corresponden a los autores y no necesariamente reflejan la postura ni la política de PepsiCo, Inc.

Referencias

Agnevik, G. (1970). "Fotball" Indrottsfysiologi; Trygg-Hansa: Estocolmo, Suecia.

Ali, A., A. Foskett y N. Gant (2014). "Measuring intermittent exercise performance using shuttle running". J Sports Sci **32**(7): <601-609.

Ali, A. y C. Williams (2009). "Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise". J Sports Sci: <1-10.

Anderson, L., P. Orme, R. Naughton, G. Close, J. Milsom, D. Rydings, A. O'Boyle, R. Di Michele, J. Louis, C. Hambley, J. Speakman, R. Morgans, B. Drust y J. Morton (2017). "Energy intake and expenditure of professional soccer players of the English Premier League: evidence of carbohydrate periodization". International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism **4**: <1-25.

Asp, S., J. R. Dugaard y E. A. Richter (1995). "Eccentric exercise decreases glucose transporter GLUT4 protein in human skeletal muscle". J Physiol **482 (Pt. 3)**: <705-712.

Baker, L. B. y A. E. Jeukendrup (2014). "Optimal composition of fluid-replacement beverages". Compr Physiol **4**(2): <575-620.

Baker, L. B., I. Rollo, K. W. Stein y A. E. Jeukendrup (2015). "Acute Effects of Carbohydrate Supplementation on Intermittent Sports Performance". Nutrients **7**(7): <5733-5763.

Bandelow, S., R. Maughan, S. Shirreffs, K. Ozgunen, S. Kurdak, G. Ersoz, M. Binnet y J. Dvorak (2010). "The effects of exercise, heat, cooling and rehydration strategies on cognitive function in football players". Scand J Med Sci Sports **20 Suppl 3**: <148-160.

Bangsbo, J. (1994). "The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise". Acta Physiol Scand Suppl **619**: <1-155.

Bendiksen, M., R. Bischoff, M. B. Randers, M. Mohr, I. Rollo, C. Suetta, J. Bangsbo y P. Krstrup (2012). "The Copenhagen Soccer Test: physiological response and fatigue development". Med Sci Sports Exerc **44**(8): <1595-1603.

Briggs, M. A., L. D. Harper, G. McNamee, E. Cockburn, P. L. S. Rumbold, E. J. Stevenson y M. Russell (2017). "The effects of an increased calorie breakfast consumed prior to simulated match-play in Academy soccer players". Eur J Sport Sci **17**(7): <858-866.

Brouns, F., J. Senden, E. J. Beckers y W. H. Saris (1995). "Osmolarity does not affect the gastric emptying rate of oral rehydration solutions". JPEN J Parenter Enteral Nutr **19**(5): <403-406.



Burelle, Y., M. C. Lamoureux, F. Peronnet, D. Massicotte y C. Lavoie (2006). "Comparison of exogenous glucose, fructose and galactose oxidation during exercise using 13C-labelling". Br J Nutr **96**(1): <56-61.

Burke, L. M., G. R. Collier, P. G. Davis, P. A. Fricker, A. J. Sanigorski y M. Hargreaves (1996). "Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings". Am J Clin Nutr **64**(1): <115-119.

Burke, L. M., J. A. Hawley, S. H. Wong y A. E. Jeukendrup (2011). "Carbohydrates for training and competition". J Sports Sci **29 Suppl 1**: S17-27.

Cade, J. R., H. J. Free, A. M. De Quesada, D. L. Shires y L. Roby (1971). "Changes in body fluid composition and volume during vigorous exercise by athletes". J Sports Med Phys Fitness **11**(3): <172-178.

Cade, R., G. Spooner, E. Schlein, M. Pickering y R. Dean (1972). "Effect of fluid, electrolyte, and glucose replacement during exercise on performance, body temperature, rate of sweat loss, and compositional changes of extracellular fluid". Journal Sports Medicine and Physical Fitness. **12**: <150-156.

Cermak, N. M. y L. J. van Loon (2013). "The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid". Sports Med **43**(11): <1139-1155.

Chambers, E. S., M. W. Bridge y D. A. Jones (2009). "Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity". J Physiol **587**(Pt 8): <1779-1794.

Costill, D. L. y B. Saltin (1974). "Factors limiting gastric emptying during rest and exercise". Journal of Applied Physiology **37**(5): <679-683.

Coyle, E. F., A. R. Coggan, M. K. Hemmert y J. L. Ivy (1986). "Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate". Journal of Applied Physiology **61**(1): <165-172.

Currell, K., S. Conway y A. E. Jeukendrup (2009). "Carbohydrate ingestion improves performance of a new reliable test of soccer performance". Int J Sport Nutr Exerc Metab **19**(1): <34-46.

Dorling, J. L. y C. P. Earnest (2013). "Effect of carbohydrate mouth rinsing on multiple sprint performance". J Int Soc Sports Nutr **10**(1): 41.

Duelli, R. y W. Kuschinsky (2001). "Brain glucose transporters: relationship to local energy demand". News Physiol Sci **16**: <71-76.

Dyer, J., S. Vayro, T. P. King y S. P. Shirazi-Beechey (2003). "Glucose sensing in the intestinal epithelium". Eur J Biochem **270**(16): <3377-3388.

Eklom, B. (1986). "Applied physiology of soccer". Sports Med **3**(1): <50-60.



Fordtran, J. S. (1975). "Stimulation of active and passive sodium absorption by sugars in the human jejunum". Journal of Clinical Investigation **55**(4): <728-737.

Foskett, A., C. Williams, L. Boobis y K. Tsintzas (2008). "Carbohydrate availability and muscle energy metabolism during intermittent running". Med Sci Sports Exerc **40**(1): <96-103.

Funnell, M. P., N. R. Dykes, E. J. Owen, S. A. Mears, I. Rollo y L. J. James (2017). "Ecologically Valid Carbohydrate Intake during Soccer-Specific Exercise Does Not Affect Running Performance in a Fed State". Nutrients **9**(1).

Gaitanos, G. C., C. Williams, L. H. Boobis y S. Brooks (1993). "Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise". J Appl Physiol (1985) **75**(2): <712-719.

Gejl, K. D., L. G. Hvid, U. Frandsen, K. Jensen, K. Sahlin y N. Ortenblad (2014). "Muscle Glycogen Content Modifies SR Ca²⁺ Release Rate in Elite Endurance Athletes". Med Sci Sports Exerc **46**(3): <496-505.

Gordon, B., L. A. Kohn, S. A. Levine, M. Matton, S. M. y B. Whiting (1925). "SUGAR CONTENT OF THE BLOOD IN RUNNERS FOLLOWING A MARATHON RACE WITH ESPECIAL REFERENCE TO THE PREVENTION OF HYPOGLYCEMIA: FURTHER OBSERVATIONS". JAMA **85**(7): <508-509.

Harper, L. D., M. A. Briggs, G. McNamee, D. J. West, L. P. Kilduff, E. Stevenson y M. Russell (2016). "Physiological and performance effects of carbohydrate gels consumed prior to the extra-time period of prolonged simulated soccer match-play". J Sci Med Sport **19**(6): <509-514.

Harper, L. D., E. J. Stevenson, I. Rollo y M. Russell (2017). "The influence of a 12% carbohydrate-electrolyte beverage on self-paced soccer-specific exercise performance". J Sci Med Sport.

Holdsworth, C. D. y A. M. Dawson (1964). "The Absorption of Monosaccharides in Man". Clin Sci **27**: <371-379.

Holdsworth, C. D. y A. M. Dawson (1964). "The Absorption of Monosaccharides in Man". Clinical Science **27**: <371-379.

Holmes, R. (1971). "Carbohydrate digestion and absorption". Journal of Clinical Pathology: Supplement(5): <10-13.

Holway, F. E. y L. L. Spriet (2011). "Sport-specific nutrition: practical strategies for team sports". J Sports Sci **29 Suppl 1**: S115-125.

Hunt, J. N. y M. T. Knox (1968). "Control of gastric emptying". Am J Dig Dis **13**(4): <372-375.



Ivy, J. L. (1998). "Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake". Int J Sports Med **19 Suppl 2**: S142-145.

James, R. M., S. Ritchie, I. Rollo y L. J. James (2017). "No Dose Response Effect of Carbohydrate Mouth Rinse on Cycling Time-Trial Performance". Int J Sport Nutr Exerc Metab **27**(1): <25-31.

Jentjens, R. L., J. Achten y A. E. Jeukendrup (2004). "High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise". Med Sci Sports Exerc **36**(9): <1551-1558.

Jentjens, R. L., C. Cale, C. Gutch y A. E. Jeukendrup (2003). "Effects of pre-exercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance". Eur J Appl Physiol **88**(4-5): <444-452.

Jentjens, R. L. y 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**(4): <485-492.

Jeukendrup, A. E. y S. C. Killer (2010). "The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding". Ann Nutr Metab **57 Suppl 2**: <18-25.

Jeukendrup, A. E. y L. Moseley (2008). "Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery". Scand J Med Sci Sports.

Jeukendrup, A. E., A. J. Wagenmakers, J. H. Stegen, A. P. Gijsen, F. Brouns y W. H. Saris (1999). "Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise". Am J Physiol **276**(4 Pt 1): E672-683.

Katz, D. B., M. A. Nicoletis y S. A. Simon (2000). "Nutrient tasting and signaling mechanisms in the gut. IV. There is more to taste than meets the tongue". Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol **278**(1): G6-9.

Katz, J. y J. D. McGarry (1984). "The glucose paradox. Is glucose a substrate for liver metabolism?" J Clin Invest **74**(6): <1901-1909.

Kingsley, M., C. Penas-Ruiz, C. Terry y M. Russell (2014). "Effects of carbohydrate-hydration strategies on glucose metabolism, sprint performance and hydration during a soccer match simulation in recreational players". J Sci Med Sport **17**(2): <239-243.

Kirkendall, D., C. Foster, J. Dean, J. Grogan y N. Thompson (1988). "Effect of glucose polymer supplementation on performance of soccer players". En: T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W. Murphy, eds. Science and Football.(Londres: E & FN Spon.): <33-41.

Kristiansen, S., F. Darakhshan, E. A. Richter y H. S. Hundal (1997). "Fructose transport and GLUT-5 protein in human sarcolemmal vesicles". Am J Physiol **273**(3 Pt 1): E543-548.



Krustrup, P., M. Mohr, A. Steensberg, J. Bencke, M. Kjaer y J. Bangsbo (2006). "Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance". Med Sci Sports Exerc **38**(6): <1165-1174.

Maughan, R. J. y R. Murray (2001). "Nutrition in Exercise and Sports Sciences: Sports drinks. Basic sciences and practical aspects".

Melendez-Hevia, E., T. G. Waddell y E. D. Shelton (1993). "Optimization of molecular design in the evolution of metabolism: the glycogen molecule". Biochem J **295 (Pt 2)**: <477-483.

Mohr, M., P. Krustrup y J. Bangsbo (2005). "Fatigue in soccer: a brief review". J Sports Sci **23**(6): <593-599.

Nedelec, M., A. McCall, C. Carling, F. Legall, S. Berthoin y G. Dupont (2012). "Recovery in soccer: part I - post-match fatigue and time course of recovery". Sports Med **42**(12): <997-1015.

Nicholas, C. W., P. A. Green, R. D. Hawkins y C. Williams (1997). "Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity". Int J Sport Nutr **7**(4): <251-260.

Nicholas, C. W., K. Tsintzas, L. Boobis y C. Williams (1999). "Carbohydrate-electrolyte ingestion during intermittent high-intensity running". Med Sci Sports Exerc **31**(9): <1280-1286.

Noakes, T. D., N. J. Rehrer y R. J. Maughan (1991). "The importance of volume in regulating gastric emptying". Med Sci Sports Exerc **23**(3): <307-313.

Nybo, L. (2003). "CNS fatigue and prolonged exercise: effect of glucose supplementation". Med Sci Sports Exerc **35**(4): <589-594.

Nybo, L., K. Pedersen, B. Christensen, P. Aagaard, N. Brandt y B. Kiens (2009). "Impact of carbohydrate supplementation during endurance training on glycogen storage and performance". Acta Physiol (Oxf) **197**(2): <117-127.

Parkin, J. A., M. F. Carey, I. K. Martin, L. Stojanovska y M. A. Febbraio (1997). "Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food". Med Sci Sports Exerc **29**(2): <220-224.

Passe, D. H., M. Horn y R. Murray (2000). "Impact of beverage acceptability on fluid intake during exercise". Appetite **35**(3): <219-229.

Rollo, I. (2019). "Carbohydrate: The Football Fuel".

Rollo, I., G. Homewood, C. Williams, J. Carter y V. L. Goosey-Tolfrey (2015). "The Influence of Carbohydrate Mouth Rinse on Self-Selected Intermittent Running Performance". Int J Sport Nutr Exerc Metab **25**(6): <550-558.



Rollo, I. y C. Williams (2011). "Effect of Mouth-Rinsing Carbohydrate Solutions on Endurance Performance". Sports Medicine **41**(6): <449-461.

Rollo, I., C. Williams y M. Nevill (2011). "Influence of ingesting versus mouth rinsing a carbohydrate solution during a 1-h run". Med Sci Sports Exerc **43**(3): <468-475.

Rolls, E. T. (2007). "Sensory processing in the brain related to the control of food intake". Proc Nutr Soc **66**(1): <96-112.

Russell, M., D. Benton y M. Kingsley (2014). "Carbohydrate ingestion before and during soccer match play and blood glucose and lactate concentrations". J Athl Train **49**(4): <447-453.

Russell, M. y M. Kingsley (2014). "The efficacy of acute nutritional interventions on soccer skill performance". Sports Med **44**(7): <957-970.

Saltin, B. (1972). "[Substrate metabolism of the skeletal musculature during exercise. 5. Muscle glycogen]". Lakartidningen **69**(14): <1637-1640.

Smeets, P. A., C. de Graaf, A. Stafleu, M. J. van Osch y J. van der Grond (2005). "Functional MRI of human hypothalamic responses following glucose ingestion". Neuroimage **24**(2): <363-368.

Stevenson, E., C. Williams y M. Nute (2005). "The influence of the glycaemic index of breakfast and lunch on substrate utilisation during the postprandial periods and subsequent exercise". Br J Nutr **93**(6): <885-893.

Tsintzas, O. K., C. Williams, L. Boobis y P. Greenhaff (1995). "Carbohydrate ingestion and glycogen utilization in different muscle fibre types in man". The Journal of Physiology **489** (Pt 1): <243-250.

Venables, M. C., L. Shaw, A. E. Jeukendrup, A. Roedig-Penman, M. Finke, R. G. Newcombe, J. Parry y A. J. Smith (2005). "Erosive effect of a new sports drink on dental enamel during exercise". Med Sci Sports Exerc **37**(1): <39-44.

Williams, C. (1993). "Carbohydrate needs of elite athletes". World Rev Nutr Diet **71**: <34-60.

Williams, C. e I. Rollo (2015). "Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance". Sports Med **45** Suppl 1: S13-22.